

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program M 2301- Strojní inženýrství

Strojírenská technologie

zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské metalurgie

Oddělení strojírenské metalurgie

**Vliv rozdílných odvodů tepla na geometrii svarové lázně při svařování
metodou MAG**

**The influence of different transfers of heat on the geometry of welding
bath with method MAG welding**

Lukáš Beránek

KSP – SM - 561

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaromír Moravec, Ph.D. – TU v Liberci

Konzultant diplomové práce: Ing. Jaromír Moravec, Ph.D. – TU v Liberci

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 74

Počet příloh: 16

Datum: 5.1.2011

Originální zadání DP

ANOTACE
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra strojírenské metalurgie
Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program: M2301-Strojní inženýrství

Diplomant: Lukáš Beránek

Téma práce: Vliv rozdílných odvodů tepla na geometrii svarové lázně při svařování metodou MAG (metal-activ-gas)

The influence of different transfers of heat on the geometry of welding bath with method MAG welding

Číslo DP: KSP – SM - 561

Vedoucí DP: Ing. Jaromír Moravec, Ph.D. – TU v Liberci

Konzultant DP: Ing. Jaromír Moravec, Ph.D. – TU v Liberci

Abstrakt:

Cílem této diplomové práce je zjistit vliv rozdílných odvodů tepla na geometrii svarové lázně při svařování metodou MAG. Diplomová práce je rozdělena do dvou hlavních částí: teoretické a experimentální. V jednotlivých kapitolách teoretické části je popsán princip obloukového svařování se zaměřením na metodu MAG, vliv svařovacích parametrů na geometrii svarové lázně, včetně popisu procesů vysvětlujících děje vznikající při přestupu tepla ve svarové lázni. Teoretická část je doplněna o popis zajištění kvality výsledného svaru a způsoby statistického vyhodnocení získaných výsledků.

Cílem experimentální části je zjištění rozdílů v geometrii svarové lázně při použití rozdílných odvodů tepla. Tyto rozdíly jsou způsobeny použitím různých tloušťek materiálů. Zkoumání bylo zaměřeno na koutové svary a to jak při bezzkratovém, tak i při zkratovém přenosu kovu. Výsledkem experimentu je zjištění závislostí jednotlivých geometrických veličin na tloušťce materiálu.

Abstract:

The topic of this thesis is to find the influence of the different transfers of heat on the geometry of welding bath with method MAG welding. The thesis is divided into two main parts: theoretical and experimental. In the individual chapters of the theoretical part the principle of the arc welding with the focus on method MAG is described, and also the influence of the welding parameters on the geometry of the welding bath, including the description explaining actions starting during the transfer of heat in the welding bath. The theoretical part is complemented with the description of assuring the quality of the resulting welding point and the means of statistical assessment of the gained results.

The aim of the experimental part is to find the difference in the geometry of the welding bath using different transfers of heat. These differences are caused by using different thicknesses of materials. The research was aimed at corner welding points, both with non-short circuit and short circuit transfer of metal. The result of the experiment is the finding of the dependence of particular geometrical quantities on the thickness of material.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 5.1.2011

.....

Lukáš Beránek
Na Trávníku 1233
516 01 Rychnov nad Kněžnou

Poděkování:

Na úvod této diplomové práce bych rád poděkoval Ing. Jaromíru Moravcovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a rady při zpracování diplomové práce.

Dále pak celé své rodině a přítelkyni Petře Rázkové za neutuchající podporu a trpělivost po celou dobu mého studia.

Lukáš Beránek

	Obsah	7
	Seznam symbolů a zkratek	9
1	Úvod	11
1.1	Historie	11
2	Teoretická část	13
2.1	Elektrický oblouk	13
2.1.1	Síly působící na kapku, při svařování elektrickým obloukem	17
2.2	Svařování metodou MIG / MAG	18
2.2.1	Princip svařování metodou MAG	19
2.2.2	Přenos kovu v oblouku	21
2.2.2.1	Typy přenosů kovu	22
2.2.3	Svařovací parametry a podmínky svařování	24
2.2.3.1	Svařovací proud	25
2.2.3.2	Svařovací napětí	26
2.2.3.3	Rychlost svařování	28
2.2.3.4	Výlet elektrody	29
2.2.3.5	Poloha a technika svařování	30
2.3	Teplotní procesy při svařování	32
2.3.1	Sdílení tepla vedením	33
2.3.2	Sdílení tepla prouděním	34
2.3.3	Sdílení tepla sáláním	36
2.4	Svařovací dráty pro MIG / MAG svařování	36
2.5	Ochranné plyny	37
2.6	Proces svařování v systému jakosti	38
2.7	Monitorování a záznam veličin svařovacího procesu	41
2.8	Matematická statistika	43

3	Experimentální část	47
3.1	Plán experimentální činnosti	47
3.2	Postup experimentálních prací	48
3.2.1	Příprava vzorků	48
3.2.2	Svařování vzorků	49
3.2.3	Monitorizace svařovacích parametrů systémem WeldMonitor	53
3.2.4	Příprava vzorků pro metalografické zpracování	57
3.2.5	Geometrické vyhodnocení svařovaných vzorků	58
3.2.5.1	Vyhodnocení vzorku S6c001	59
3.3	Vyhodnocení experimentu	62
4	Závěr	73
5	Seznam použité literatury	75
6	Seznam příloh	77

Seznam symbolů a zkratk

MAG	Metal-activ-gas	
MIG	Metal-inert-gas	
TIG	Tungsten-inert-gas	
S.I.G.M.A.	Shielded Inert Gas Metal Arc (oblouk chráněný inertním plynem)	
U_k	Katodový úbytek napětí	[V]
U_s	Úbytek napětí ve sloupci oblouku	[V]
U_a	Anodový úbytek	[V]
U_{eo}	Úbytek napětí ve sloupci oblouku	[V]
l_k	Délka katodové oblasti	[m]
l_s	Délka přechodové části sloupce oblouku	[m]
l_a	Délka anodové oblasti	[m]
l_{eo}	Celková délka oblouku	[m]
r_s	Poloměr sloupce elektrického oblouku	[m]
I_s	Svařovací proud	[A]
U_k	Katodový úbytek napětí	[V]
$U_{em}I_s$	Energie potřebná k emisi elektronů z povrchu katody	[J.s ⁻¹ ;W]
E_s	Gradient napětí sloupce oblouku	[V.m ⁻¹]
σ	Stefanova-Boltzmannova konstanta	[W.m ⁻² .K ⁻⁴]
β	Součinitel pohltivosti záření oblouku	[-]
T_s	Teplota sloupce oblouku	[K]
U_i	Ionizační napětí prvku	[V]
P_s	Výkon vznikající ve sloupci oblouku	[J.s ⁻¹ , W]
η	Účinnost elektrického oblouku	[-]
w	Šířka housenky	[mm]
p	Převýšení svaru	[mm]
v	Hloubka závaru	[mm]
PA -PE	Poloha svařování viz. strana 30 a 31	
L_d	Výlet drátu	[mm]
d	Průměr drátu	[mm]
a	Koeficient teplotní vodivosti	[m ² .s ⁻¹]
x,y,z	Kartézské souřadnice	
c	Měrné teplo	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
λ	Součinitel tepelné vodivosti	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
ρ	Měrná hmotnost	[kg.m ⁻³]
t	Čas	[s]

T	Termodynamická teplota	[K]
L_p	Vzdálenost kontaktní špičky	[mm]
q	Hustota tepelného toku	[W.m ⁻²]
gradT	Gradient termodynamické teploty T	[m ² .s ⁻¹]
λ	Součinitel tepelné vodivosti	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
λ_0	Tepelná vodivost při teplotě 0°C	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
b	Konstanta	[-]
λ	Celková tepelná vodivost	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
λ_m	Tepelná vodivost mřížky	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
λ_e	Celková tepelná vodivost elektronů	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
a	Součinitel teplotní vodivosti	[m ² .s ⁻¹]
c_p	Měrná tepelná kapacita při stálém tlaku	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
ρ	Hustota	[kg.m ⁻³]
q_0	Tepelný výkon vnitřních zdrojů	[J.m ⁻³]
q_n	Teplo přenesené prouděním při turbulentním proudění	[W.m ⁻²]
α	Součinitel přestupu tepla	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
$(T_K - T_S)$	Rozdíl teplot mezi kapalinou a teplosměnnou plochou	[K]
E	Celková vyzařovaná energie	[W.m ⁻²]
σ_B	Stefan-Boltzmanova konstanta	[W.m ⁻² .K ⁻⁴]
μ	Aritmetický průměr	
x_i	Naměřená hodnota	
n	Celkový počet	
s	Směrodatná odchylka	
v_x	Variační koeficient	[%]
P_c	Celková plocha sváru	[mm ²]
P_Δ	Nosná plocha sváru	[mm ²]
P_n	Plocha návaru	[mm ²]
X	Vyosení hubice hořáku	[mm]
$A, b, b_{max}, c, e, p, V, V_{max}, W, X, X_{max}, Z, Z_{max}, L_C, L_D$	Rozměry geometrie lázně	[mm]
α, β_1, β_2	Úhly geometrie lázně	[°]

1 Úvod

1.1 Historie

Historie svařování a pájení kovů se datuje už od dob, kdy se začaly zpracovávat barevné kovy a železo. Po mnoho staletí byl jediný způsob spojování kovů prováděn v kovárnách a označoval se jako hrubý kovářský způsob. Princip spočíval v tom, že na dva ve výhni zahřáté kovy se tak dlouho tlouklo kladivem, dokud nedošlo ke spojení. Kolem roku 1880 byly objeveny dvě převratné metody svařování s využitím elektrického proudu a to obloukové a odporové svařování, které o několik let později byly uvedeny i do praxe. Až o něco později bylo objeveno i využití plynu pro svařování, tedy kyslíko-acetylenový plamen. [1]

Už v roce 1782 se pokoušel v Německu pomocí elektrické fúze svařovat profesor G. Lichtenberg. Historie, ale udává jako prvního objevitele obloukového svařování Sira Humphrey Davyho v roce 1801. Po dlouhých letech vývoje a zkoumání elektrické energie a elektrického oblouku dospěl Davyho objev až do fáze průmyslového využití. V roce 1881 August de Meritens využil obloukového svařování ke spojení desek akumulátorové baterie. O Meritensův pokus se zajímali a dále ho rozvíjeli pánové Nikolas de Benardos a Stanislaw Olszewski. Benardos své úsilí zakončil v roce 1887, kdy jako první získal patent na svařování elektrickým obloukem a jeho způsob svařování byl brzy uveden do průmyslové praxe na výrobu nádrží, sudů a železného zahradního nábytku.

U nás se začalo svařování využívat kolem roku 1900 a to především v našich předních podnicích té doby a to ve Škodových závodech v Plzni a Vítkovických železárnách. V těchto podnicích se elektrické obloukové svařování používalo hlavně pro opravy ocelových odlitků. [1]

Svařování zaznamenalo velký krok vpřed v dobách první světové války. Pro potřeby armády začalo svařování nahrazovat nýtování ve výrobě lodí a letadel. Především při stavbě lodí byli největšími průkopníky ve využití svařování Němci, Britové a Američani. V leteckém průmyslu využil svařování jako první holandský výrobce Anthony Fokker, který svařoval části trupu německých stíhacích letadel.

Po první světové válce a v období druhé světové války bylo obloukové svařování v průmyslu dominantní, ale i přesto vývoj pokračoval dál a hledali se další technologie k omezení chyb a vad ve svarech.

V roce 1947 se v USA začali na trhu objevovat svařovací stroje, které dokázaly pracovat s ochranným plynem, tedy předchůdce metody MIG/MAG. Tato metoda měla označení S.I.G.M.A., přičemž tato zkratka znamenala Shielded Inert Gas Metal Arc (oblouk chráněný inertním plynem). [1]

Základ vzniku svařování MAG dali v roce 1952 Rusové, kteří při svařování využili plyn CO_2 . V Československu se nejdříve tento postup používal pro svařování nízkolegovaných a nelegovaných ocelí. V pozdějších letech, poté co poklesla cena argonu, se začaly využívat směsné plyny. Ty se využívají až do dnešní doby a spolu se zdokonalováním svařovacích zdrojů stále zvyšují kvalitu svarů.

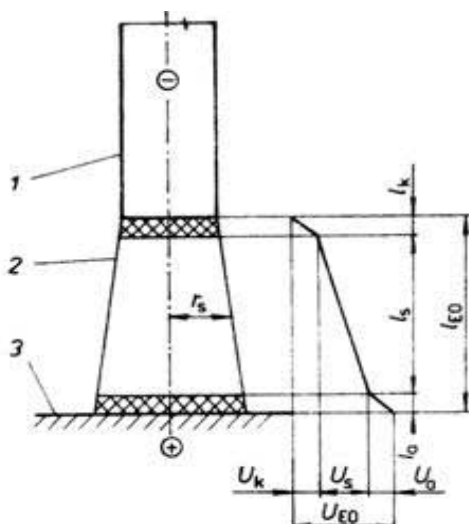
V současnosti se metoda svařování MIG/MAG využívá nejen pro svary z nízkolegovaných a nelegovaných ocelí, ale i pro vysokolegované oceli a hliník. Možnost svařování vysokolegovaných ocelí a hliníku zajišťuje využití pulzního oblouku. Velký rozmach a využitelnost metody MIG/MAG jí zajišťují výhody, jako jsou hluboký závar, ekonomičnost a především v posledních letech velmi potřebná možnost mechanizace a automatizace. [1]

2 Teoretická část

2.1 Elektrický oblouk

Při svařování elektrickým obloukem se využívá vysoká teplota elektrického oblouku. Tato teplota dovoluje soustřeďovat velké množství tepla na malém prostoru a tím dosáhnout rychlého natavení svarových ploch základního a přídavného materiálu. Díky tomuto jevu dochází ke snižování tepelně ovlivněné oblasti základního materiálu.

Elektrický oblouk, je definován jako nízkonapěťový elektrický vysokotlaký výboj hořící mezi koncem elektrody a základním materiálem. Elektrický oblouk je zřetelně ohraničený a intenzivně zářící elektrický výboj kruhového průřezu. Oblouk stabilně hoří za předpokladu napětí dostatečného pro ionizaci daného prostředí a proudu udržujícího plazma oblouku v ionizovaném stavu. Ve vzniklém elektrickém poli jsou urychlovány vzniklé elektrony na katodě směrem k anodě. Výkon elektrického oblouku, teplotu a geometrii lze regulovat podle technologických požadavků. Zobrazení hlavních částí elektrického oblouku je na obrázku 2.1. [2]



Obr. 2.1 Hlavní části elektrického oblouku [2]

1 – elektroda, 2 – sloupec oblouku, 3 – základní materiál, U_k – katodový úbytek napětí, U_s – úbytek napětí ve sloupci oblouku, U_a – anodový úbytek, U_{eo} – úbytek napětí ve sloupci oblouku, l_k – délka katodové oblasti, l_s – délka přechodové části sloupce oblouku, l_a – délka anodové oblasti, l_{eo} – celková délka oblouku, r_s – poloměr sloupce elektrického oblouku

a) Katodová skvrna

Katodová skvrna se tvoří na povrchu elektrody zapojené na záporný pól. Je to ostře ohraničená oblast, která termickou emisí emituje prvotní elektrony důležité pro zapálení oblouku a ionizaci plynného prostředí. Elektrony získávají v oblasti katodového úbytku napětí tak velkou kinetickou energii, že jsou schopny při srážkách ionizovat neutrální atomy na kladné ionty a sekundární elektrony. Skvrna je stabilní, nebo se v závislosti na teplotě, proudu a geometrii konce elektrody po jejím povrchu přemísťuje. Teplota katodové skvrny není stálá, zvyšuje se s růstem proudu. Teplota katody se pohybuje kolem 2400 - 3000°C

Na katodovou skvrnu elektrody dopadají kladné ionty, které se pohybují ve směru záporného pólu vlivem elektrostatických sil. Ionty se na povrchu neutralizují a předávají na katodu svojí ionizační energii, která přispívá k termoemisi elektronů.

Hodnotu výkonu, který vzniká při hoření oblouku v oblasti katody, je možné vypočítat ze vzorce (1). [2,3]

Výkon vznikající v oblasti katody: [2]

$$P_k = (U_k - U_{em}) \cdot I_s \quad [J \cdot s^{-1}; W] \quad (1)$$

kde:

I_s - svařovací proud [A]

U_k - katodový úbytek napětí [V]

$U_{em} \cdot I_s$ – energie potřebná k emisi elektronů z povrchu katody [$J \cdot s^{-1}; W$]

b) Sloupec oblouku

Sloupec oblouku je zářivě svítící oblast disociovaného a ionizovaného plynu ve formě plazmy mezi elektrodami, která dosahuje vysokých teplot. Maximální teplota závisí na řadě faktorů:

- především na počtu srážek částic v oblouku, který je dán intenzitou proudu a hodnotou napětí
- prostředí oblouku, které určuje stupeň disociace a ionizace v závislosti na teplotě.

Překročí-li proud určitou kritickou hodnotu, začne veškerá plazma proudit od elektrody k základnímu materiálu bez ohledu na polaritu jednotlivých částic. Maximální teploty oblouku jsou ve středu a k okraji klesají, přičemž nejvyšší teplota je těsně pod katodovou skvrnou. Vysoká proudová hustota vytváří velmi vhodné podmínky pro ionizaci. Teploty při svařování MAG se pohybují v rozmezí 8000° - 15000°C.

Sloupec elektrického oblouku je charakterizován geometrií a fyzikálními veličinami. Má tvar mírně se rozšiřujícího kužele směrem od katody k anodě. Mezi geometrické veličiny patří především poloměr sloupce oblouku daný vztahem (2), z fyzikálních veličin se jedná především o teplotu sloupce oblouku danou vztahem (3) a výkon vznikající ve sloupci oblouku daný vztahem (4). [2,3]

Poloměr sloupce oblouku: [2]

$$r_s = \frac{I_s \cdot E_s}{2\pi \cdot \beta \cdot \sigma \cdot T_s^4} \quad [m] \quad (2)$$

kde:

I_s - svařovací proud [A]

E_s - gradient napětí sloupce oblouku [V.m⁻¹]

σ - Stefanova-Boltzmannova konstanta [W.m⁻².K⁻⁴]

β - součinitel pohltivosti záření oblouku [-]

T_s - teplota sloupce oblouku [K]

Teplota sloupce oblouku: [2]

$$T_s = 800 \cdot U_i \quad [K] \quad (3)$$

kde:

U_i - ionizační napětí prvku [V]

Výkon vznikající ve sloupci oblouku: [2]

$$P_s = U_s \cdot I_s \quad [J \cdot s^{-1}; W] \quad (4)$$

kde:

U_s - úbytek přechodové části sloupce oblouku (napětí sloupce oblouku) [V]

($U_s = E_s \cdot I_s$)

I_s - svařovací proud [A]

c) Anodová skvrna

Na povrchu elektrody zapojené na kladný pól se tvoří anodová skvrna. Anodovou skvrnou jsou neutralizovány a odváděny dopadající záporné částice. Část kinetické energie částic se mění na tepelnou a část i na elektromagnetické záření. Vyšší teplota anodové skvrny se připisuje intenzivnějšímu uvolňování tepla při neutralizaci rychle letících elektronů a přeměně kinetické energie elektronů na tepelnou. Teplota anodové skvrny se pohybuje v rozmezí 2700 – 3600°C a většinou dosahuje teploty varu svařovaných materiálů.

Hodnotu výkonu, který vzniká při hoření oblouku v oblasti anody, je možné vypočítat ze vzorce (5) a celkový výkon elektrického oblouku lze pak získat ze vzorce (6). [2,3]

Výkon vznikající v oblasti anody:

$$P_a = (U_a + U_{em}) \cdot I_s \quad [J \cdot s^{-1}; W] \quad (5)$$

kde:

I_s - svařovací proud [A]

U_a - anodový úbytek napětí [V]

$U_{em} \cdot I_s$ - energie potřebná k emisi elektronů z povrchu katody [$J \cdot s^{-1}$; W]

Celkový výkon elektrického oblouku:

$$P = I_s \cdot (U_s + U_k + U_a) \cdot \eta \quad [J \cdot s^{-1}; W] \quad (6)$$

kde:

I_s - svařovací proud [A]

η - účinnost elektrického oblouku

U_s - úbytek přechodové části sloupce oblouku [V]

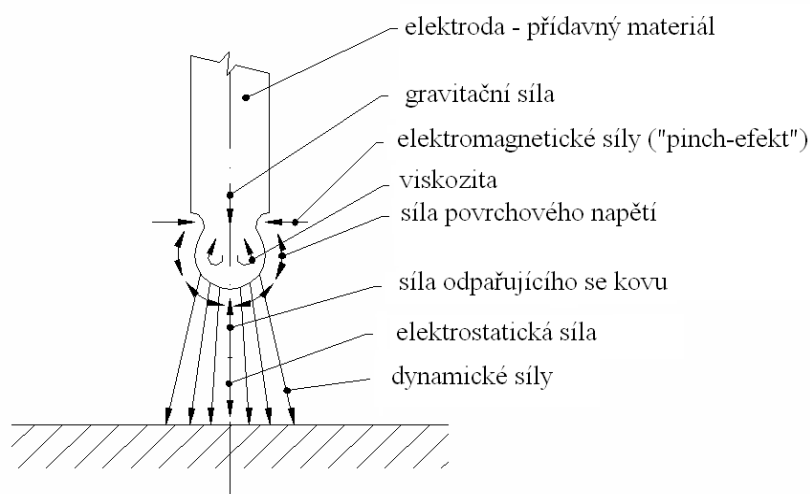
U_k - katodový úbytek napětí [V]

U_a - anodový úbytek napětí [V]

2.1.1 Síly působící na kapku, při svařování elektrickým obloukem

Způsob vzniku, odtržení a přechodu roztaveného přídavného materiálu do svarové lázně ovlivňuje způsob formování svaru, vzhled povrchu svarové housenky, geometrickou podobu závaru, ztráty rozstřikem, atd. Dále výrazně ovlivňuje intenzitu průběhu metalurgických reakcí mezi kovem a plyny. [4]

Na odtržení a přenos kapky kovu z nataveného konce elektrody působí celá řada různých sil. Vzájemný poměr velikostí těchto sil a směr jejich výslednice jsou určovány parametry svařování. Na obr. 2.2 jsou znázorněny síly, působící na kapku při svařování elektrickým obloukem.



Obr. 2.2 Síly působící na kapku kovu při svařování v ochranných atmosférách [4]

Nejvýznamnější působící síly jsou následující: [4]

Gravitační síla - napomáhá k odtržení kapky od přídavného materiálu. Velikost této síly závisí na poloze svařování. [5]

Síla povrchového napětí - udržuje kapku na čele elektrody

Elektromagnetická Lorenzova síla - vliv této síly je podstatný především při svařování v ochranných atmosférách (MIG, MAG, TIG), kde způsobuje tzv. „*pinch-efekt*“, tj. zaškrcováním kapky v zužujícím se krčku

Dynamické síly - síly vyvolané kinetikou proudících plynů – sací účinek proudící plazmy (plazmového toku) – napomáhají k odtržení kapky

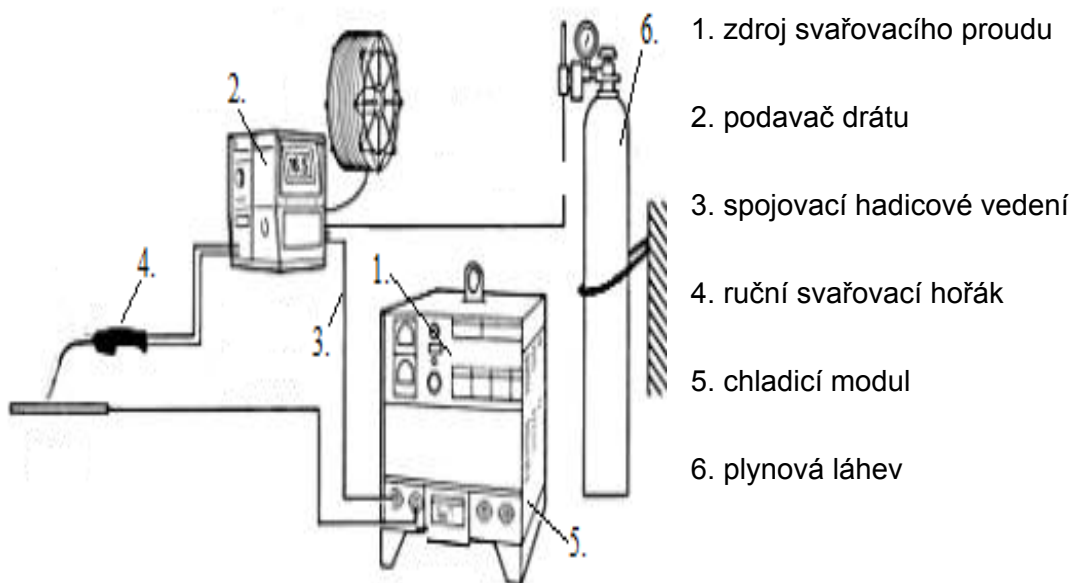
Elektrostatické síly a síly odpařujícího se kovu – jejich vliv závisí na konkrétních případech

2.2 Svařování metodou MIG/MAG

Svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu MAG patří vedle svařování obalenou elektrodou v celosvětovém měřítku k nejrozšířenějším metodám pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Svařování MIG/MAG získává na důležitosti zejména vlivem růstu objemu ocelových konstrukcí, stavebních strojů a lodní dopravy, ale i z důvodu růstu dopravních prostředků vyráběných z lehkých, především hliníkových slitin. [6]

Hlavními důvody oblíbenosti této metody MIG/MAG jsou: [6]

- široký výběr přídatných materiálů a ochranných plynů
- snadná možnost mechanizace a robotizace
- velký sortiment vyráběných svařovacích zařízení



Obr. 2.3 Sestava svařovacího zařízení MIG/MAG

Výhody:

- možnost svařování ve všech polohách plechy od 1 mm, ale i materiály větší tloušťky, při přímočarých, kruhových i bodových svarech
- přímá kontrola tvorby a vzhledu svarové housenky při svařování odkrytým obloukem
- minimální tvorba strusky

- možnost svařovat „nekonečným“ drátem s úsporou nedopalků
- velký výkon odtavení
- velká proudová hustota

Nevýhody:

- převýšení housenky nad základní materiál je v porovnání s metodou TIG větší
- při vysokých proudech hluboký a úzký závar
- při dané směsi plynu a charakteristickém přenosu kovu v oblouku se při změnách parametrů bude měnit i velikost přenášených kapek

Proto, aby byl svarový spoj vytvořený metodou MIG/MAG dostatečně kvalitní, je zapotřebí dobře natavit základní materiál a odtavit přídavný materiál. Zde je zásadním a rozhodujícím faktorem tepelná energie oblouku. Ta vyplývá z celkového výkonu oblouku, který je vyjádřený součinem svařovacího proudu a napětí na oblouku. [6]

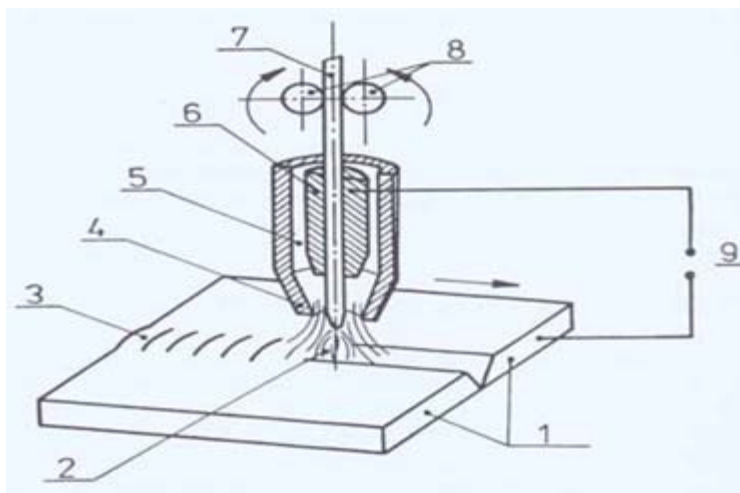
Dále však ještě závisí na: [6]

- druhu svařovacího proudu (velikost proudu a napětí a polaritě)
- prostředí, ve kterém oblouk hoří (druh ochranného plynu)
- materiálu elektrod (drátu)
- době působení oblouku a také místním účinku
- technologických faktorech

2.2.1 Princip svařování metodou MAG

Základem svařování metodou MAG je hoření elektrického oblouku mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem v ochranné atmosféře aktivního plynu. Jak ukazuje obrázek 2.4 napájení drátu elektrickým proudem je zajištěno třecím kontaktem v ústí hořáku 6 tak, aby elektricky zatížená délka drátu byla co nejkratší. Drát je podáván podávacími kladkami 8 umístěnými v podavači. Ze všech obloukových metod je u svařování MAG nejvyšší proudová hustota, která dosahuje až $600 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$, přičemž se svařovací proudy pohybují v rozmezí od 30A u svařování tenkých plechů drátem o průměru 0,6 – 0,8 mm, až do 600A u vysokovýkonných mechanizovaných metod. Způsob přenosu kovu obloukem závisí na zvolených parametrech svařování a ochranném plynu. Běžně se užívá zkratový

přenos pro tenké plechy a sprchový přenos pro větší tloušťky plechů. U vysokých proudů se mění charakter přenosu kovu obloukem a vlivem elektromagnetických sil se dosahuje rotujícího oblouku. Při svařování MAG se teplota kapek pohybuje v rozmezí 1700 až 2500°C. Teplota tavné lázně se v závislosti na použité technologii, parametrech svařování, chemickém složení a vlastnostech materiálu pohybuje mezi 1600 až 2100°C. [6]



Obr. 2.4 Princip svařování metodou MAG [6]

1 – svařovaný materiál, 2 – elektrický oblouk, 3 – svar, 4 – plynová trubice, 5 – ochranný plyn, 6 – kontaktní průvlak, 7 – přídatný drát, 8 – podávací kladky, 9 – zdroj proudu

Hlavními metalurgickými reakcemi jsou oxidační a desoxidační pochody. Probíhají v kapkách tavící se elektrody a v roztaveném svarovém kovu. Tyto reakce podstatně ovlivňují vnitřní čistotu svaru, tvar oblouku, přechod svarové housenky do základního materiálu a povrch svarové housenky. Rozsah reakcí ovlivňuje především množství disociovaného kyslíku, který je schopný slučování s prvky v tavenině. Probíhající oxidační reakce jsou exotermické, jelikož při přechodu kapek svarového kovu jsou obohaceny kyslíkem a zároveň dosahují vysoké teploty. Tyto reakce uvolňují teplo, které je difúzí vedeno do okolního materiálu a výsledkem je hlubší a oválnější svarová lázeň u svaru s ochranným plynem CO_2 , který má větší oxidační schopnost než u směsí $\text{Ar} + \text{CO}_2$, nebo v čistém Ar . Sloučením oxidu FeO s C se tvoří bubliny CO . Tyto bubliny jsou za určitých podmínek příčinou pórovitosti a bublinatosti svarů. Pro odstranění těchto bublin se musí provést dokonalá desoxidace taveniny svarového kovu. Pro desoxidaci se užívá Mn a Si . Ty jsou v určitém doporučeném poměru $\text{Mn} : \text{Si}$ cca 1,5 : 1 až 1,8 : 1 s optimálním složením

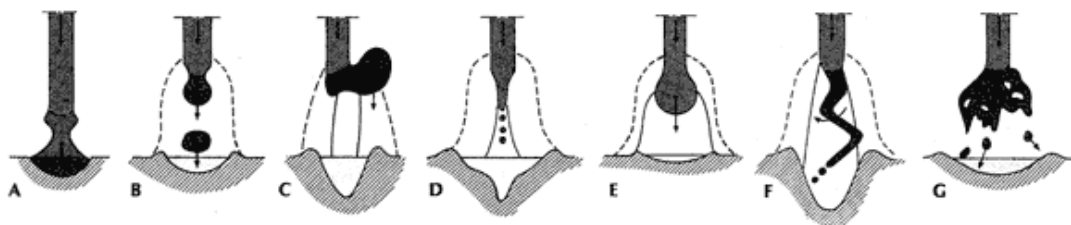
přídavných materiálů: C = 0,1%, Mn = 1,7%, Si = 1,0%. Při dodržení tohoto doporučení má vzniklá struska vhodnou tekutost a snadno vyplave na povrch tavné lázně. [6]

2.2.2 Přenos kovu v oblouku

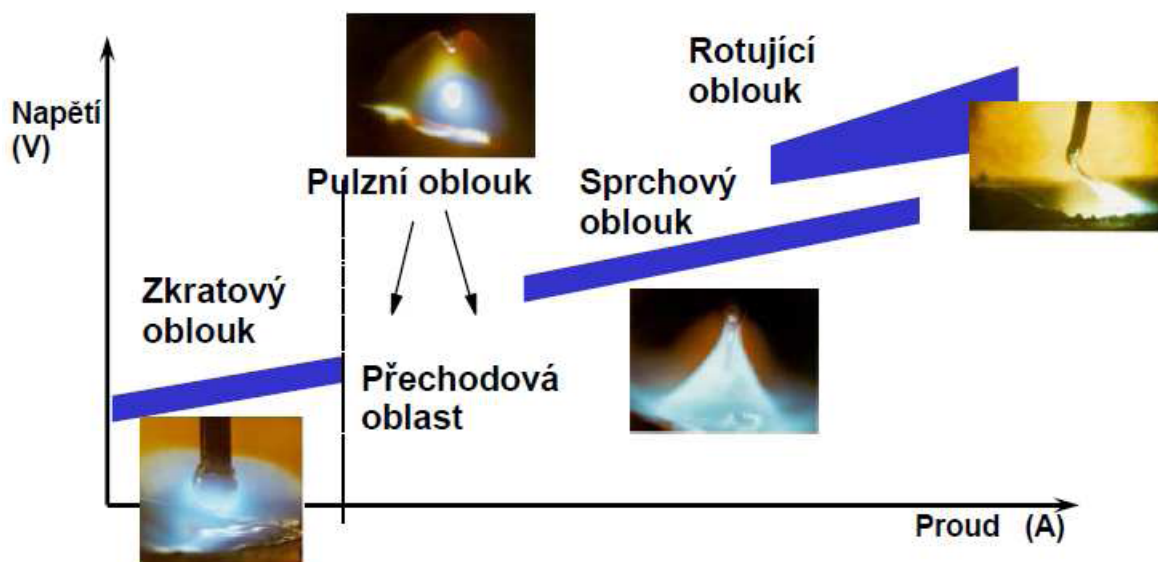
Přenos kovu v oblouku patří mezi základní charakteristiky metody svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou. Hlavně závisí na svařovacích parametrech tj. proudu a napětí a rovněž ho výrazně ovlivňuje druh přídavného materiálu a složení ochranného plynu. [6]

Přenos kovu v oblouku lze rozdělit na tyto typy: [6] (obr.2.5, 2.6):

- a) krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu
- b) krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem kovu
- c) přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty
- d) dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem
- e) impulzní bezzkratový oblouk
- f) moderovaný bezzkratový přenos
- g) dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu



Obr. 2.5: Rozdělení jednotlivých typů přenosu kovu při svařování v ochranné atmosféře [7]



Obr. 2.6: Oblasti přenosu kovu [8]

2.2.2.1 Typy přenosu kovů

Zkratový přenos



Zkratový přenos umožňuje krátký oblouk. Při tomto typu přenosu se vytváří na konci drátů kapka, která se dotýká v čase přenosu roztavené svarové lázně. Zkratový přenos se uplatňuje v rozsahu svařovacího proudu od 60 do 180A a napětí 14 – 22V. Výkon navaření odtavení při těchto parametrech se pohybuje v rozmezí 1 – 3kg.hod⁻¹.

Při zkratovém způsobu přenosu kovu dochází k přerušování oblouku zkratem, při kterém se odděluje část kovu elektrody. Oblouk, který se v čase dotyku přerušil, po oddělení kapky opět volně hoří. Děj „krátké spojení – oblouk – krátké spojení“ se opakuje podle nastavených podmínek a parametrů procesu. Tento proces se opakuje 20 až 200 -krát za sekundu, přičemž počet zkratů závisí na proudu a napětí, složení plynu, průměru svářecího drátu, odporu a indukčnosti svařovacího obvodu. [9]

Zrychlený zkratový oblouk

Tento typ přenosu umožňuje zvýšení rychlosti svařování při použití posuvu svařovacího drátu nad 15 m.min⁻¹ (při použití drátu Ø 1,2 mm). Přenos kovu je zkratový a to při parametrech svařování běžně používaných pro svařování

sprchovým obloukem. Lze jej užít pro svařování tenkých plechů. Rovněž jej lze užít i pro svařování kořene svaru.

Impulsní svařování



Svařování impulsním proudem je zvláštní formou bezzkratového přenosu kovu. Parametry svařování impulsním proudem překrývají oblast zkratového i sprchového přenosu. Impulsní forma přenosu kovu obloukem, jehož průběh je řízen elektronickou cestou, má pravidelný cyklus daný frekvencí amplitudy impulsního proudu. Základní proud je nízký od 20 do 50A, a jeho funkce je udržení ionizace sloupce oblouku, a tím i vedení proudu. Impulsní proud, který se nastavuje, je tvarově i časově řízený a v konečné fázi jeho amplitudy je zajištěno odtavování kapky přídavného materiálu. V celém průběhu amplitudy impulsního proudu intenzivně hoří oblouk, který ohřívá svarovou lázeň i samotný přídavný materiál. [9]

Svařování impulsním proudem má řadu výhod:

- efektivní hodnota impulsního proudu je nižší než u konstantního, a tím se vnáší méně tepla do svaru s menším deformačním účinkem
- lze svařovat tenké plechy i polohové svary bezzkratovým přenosem
- velmi vhodný přenos pro svařování hliníku a jeho slitin i vysokolegovaných ocelí
- díky možnosti nastavení proudu, napětí, frekvence a amplitudy poskytuje zdroj impulsního proudu široké aplikační možnosti.

Při svařování impulsním obloukem se jako optimální plyn pro svařování uhlíkových ocelí používá směs Ar s 8% CO₂ a pro nerezavějící oceli Ar + 2% O₂. U hliníku se používá čistý argon. Nejširší uplatnění je v současnosti při ručním a mechanizovaném svařování nelegovaných, nízkouhlíkových a nízkolegovaných ocelí, při použití směsného plynu argonu s oxidem uhličitým. [9]

Sprchový oblouk (sprchový přenos)



Sprchového přenosu lze dosáhnout jen za vysokých proudových hustot při určité hranici proudu a napětí v oblouku. Sprchový přenos je typický pro hodnoty svařovacího proudu od 200 do 500A a napětí 28 až 40V. Jedná se o proces přenášení malých jednotlivých kapek bez zkratů, které jsou z elektrody oddělovány osovým směrem dolů. Odtavování se uskutečňuje ze zúženého konce elektrody, ze kterého se kapky oddělují v rychlém sledu za sebou. V průběhu sprchového přenosu se, po celou dobu periody oddělování kapky, proud nemění. Je to zabezpečeno tím, že po celý cyklus oddělování kapky nedochází k zhasnutí oblouku, a tak se do materiálu dostává maximální množství tepla. Tento typ přenosu se vyznačuje velkou hloubkou závaru, který vzrůstá v závislosti na proudu. [9]

Rotující oblouk



Přenos rotujícím obloukem je charakterizován těmito svařovacími parametry. Proud se pohybuje v rozmezí od 400 do 600A a napětí v rozmezí od 40 do 65V. Závar je velmi široký, což je výhodou u svařování vícevrstevných svarových spojů s požadavky na dostatečný boční závar. Odtavovací výkon při tomto typu přenosu je až 20 kg.hod^{-1} . [9]

2.2.3 Svařovací parametry a podmínky svařování

Průběh svařování a tvorba geometrie svaru je při svařování metodou MAG ovlivněna celou řadou proměnných činitelů. Volbou parametrů svařování, použité ochranné atmosféry, druhem přídavného materiálu a fyzikálními zákonitostmi je rozhodnuto o následujících charakterech svařovacího procesu: [10]

- stabilitě hoření elektrického oblouku
- geometrii a vlastnostech svaru
- typu přenosu roztaveného kovu
- operativních možností metody MAG

Hlavními veličinami, které mají největší vliv na tvar a geometrii svaru jsou:

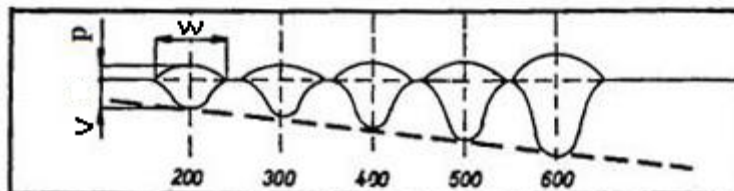
- svařovací proud
- svařovací napětí
- rychlost svařování

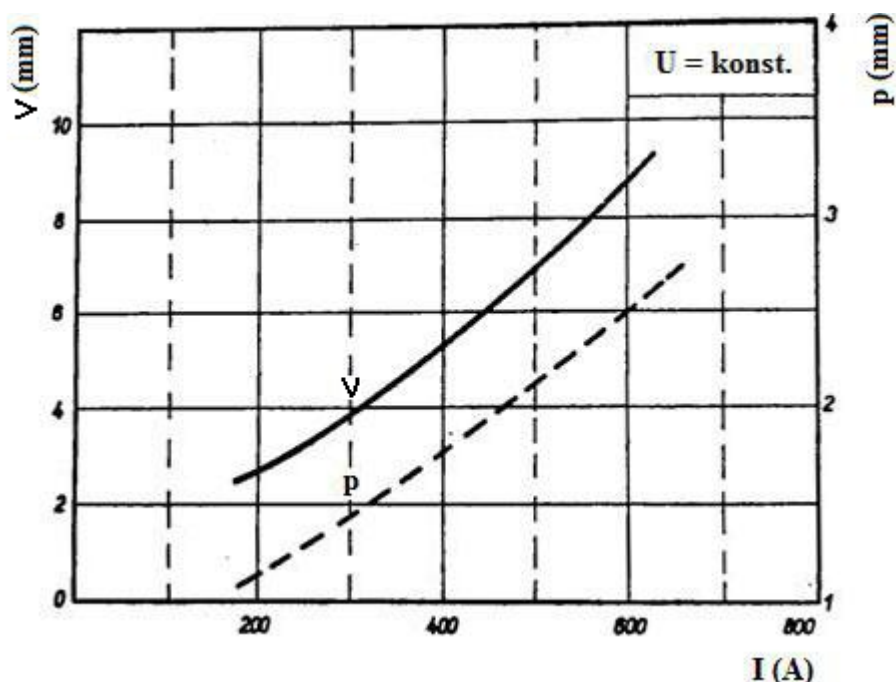
Mimo hlavních parametrů svařování ovlivňuje rozměr a tvar svarů několik dalších veličin:

- typ a průměr drátu
- rychlost podávání drátu
- výlet drátu
- polarita
- výlet drátu
- sklon drátu vůči povrchu svařovaného materiálu
- typ a množství ochranného plynu
- teplota předehřevu základního materiálu
- poloha svařování

2.2.3.1 Svařovací proud

Svařovací proud má vliv na charakter přenosu kovu, tvar průřezu svarové housenky a to jak při svařování tak i při navařování. Vzájemem hodnoty proudu stoupá proudová hustota, roste velikost svarové lázně, součinitel tavení a odtavovací výkon. [9]





Obr. 2.7: Závislost tvaru svarové housenky na intenzitě proudu (w – šířka housenky, p – převýšení svaru, v – hloubka závaru)

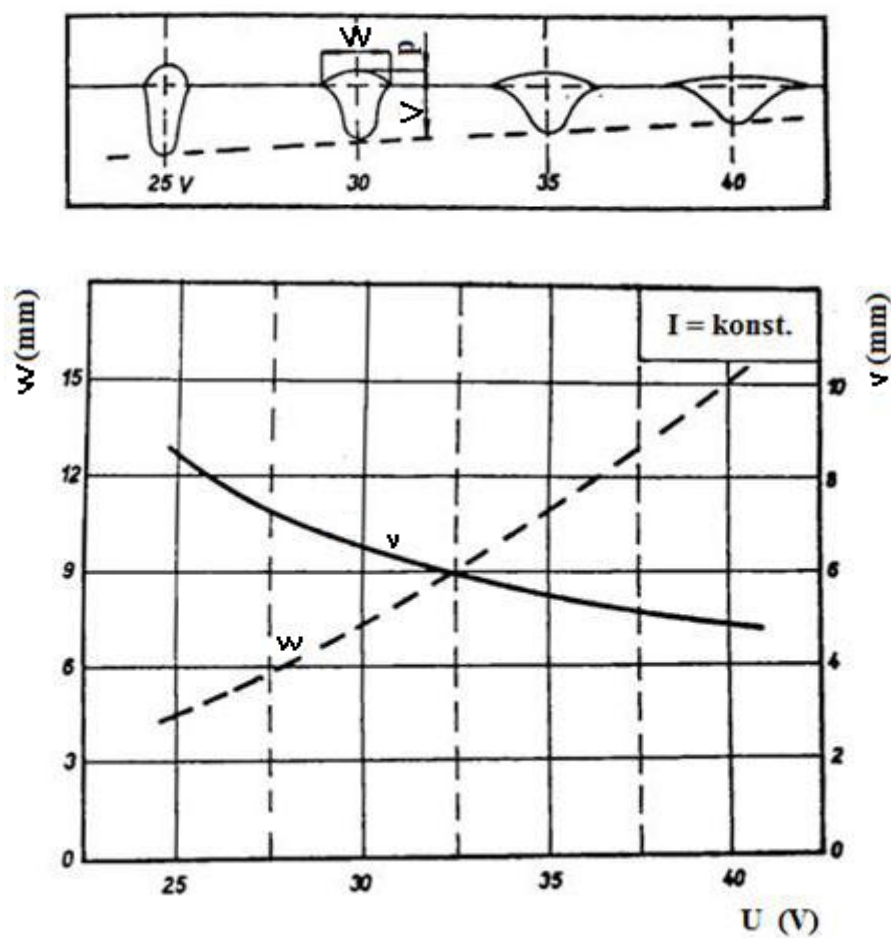
Při konstantním napětí na oblouku nastává při zvětšování svařovacího proudu intenzivní vzrůst hloubky závaru s malým nárůstem převýšení a malým vzrůstem šířky svarové housenky. Šířku svarové lázně ovlivňuje především napětí a postupná rychlost svařování (obr. 2.7). [9]

Svařovací proud je veličina, která je u současných svařovacích zařízení závislá na rychlosti posuvu drátu daného průměru. Podle nastavené rychlosti posuvu drátu si odebírá ze svařovacího zdroje takové množství proudu, jaké je potřebné pro jeho odtavení. Svařovacím proudem se ovlivňuje charakter přenosu kovu v oblouku: [9]

- vzrůstem proudu stoupá frekvence přenosu kapek
- vzrůstem proudu se podle složení ochranného plynu ovlivňují síly, které účinkují na kapku
- vzrůstem proudu se u drátů větších průměrů zmenšuje objem kapek

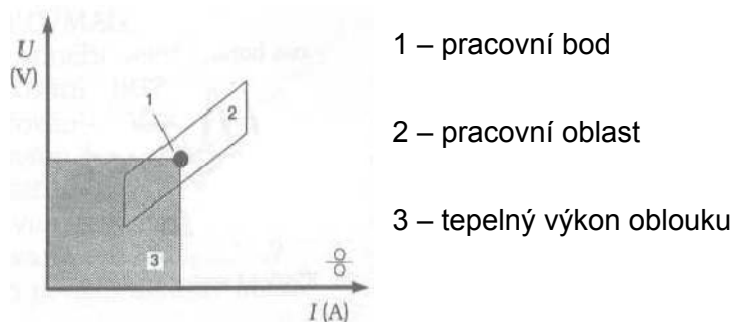
2.2.3.2 Svařovací napětí

Napětí na oblouku představuje potenciální rozdíl mezi koncem drátu a povrchem svarové lázně. Mění se podle délky oblouku. Na odtavovací výkon má napětí jen malý vliv. Největší vliv má na šířku svarové housenky (obr. 2.8). [9]



Obr. 2.8: Závislost tvaru svarové housenky na napětí (w – šířka housenky, p – převýšení svaru, v – hloubka závaru)

Na svařovacím zdroji nelze přímo nastavit svařovací napětí. Nastavuje se tzv. „napětí naprázdno“, které je větší než skutečné napětí na oblouku. Po zapálení oblouku klesne „napětí naprázdno“ na hodnotu, odpovídající velikosti proudu při daném odporu obvodu. Je nutné, aby se napětí na oblouku pohybovalo v tolerančním poli pracovní oblasti a tím bylo dosaženo samoregulace a ustálení pracovního bodu (obr. 2.9).



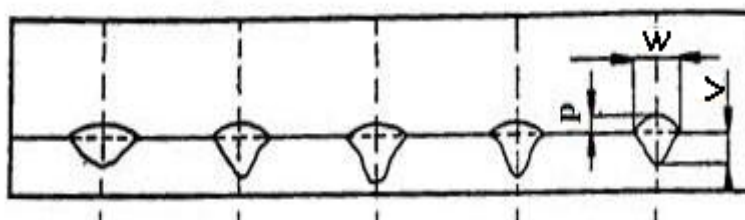
Obr. 2.9: Nastavení parametrů při svařování MAG

Nadměrné zvyšování napětí může být příčinou zvýšeného propalu legujících prvků. Čas styku kapky s prostředím oblouku se v tu dobu prodlužuje. Tím může docházet k chemickým reakcím, které ovlivňují složení svarového kovu a tím mechanické vlastnosti spoje. Zvýšení velikosti svarové lázně může být příčinou předbíhání tekutého kovu před oblouk. Svary se zvýšeným napětí jsou náchylné na pórovitost, a také dochází ke zvýšenému rozstříku. Tyto všechny vlastnosti mohou mít za následek obtížné svařování v polohách PC až PE.

Nízké napětí naopak bývá příčinou nestabilního procesu, úzkých svarových housenek s velkým převýšením, především při větších rychlostech svařování. Při těchto případech vzniká nedokonalé natavení na okraji housenek. Při dalším napojování ostatních housenek dochází v těchto místech k největším chybám svaru. [9]

2.2.3.3 Rychlost svařování

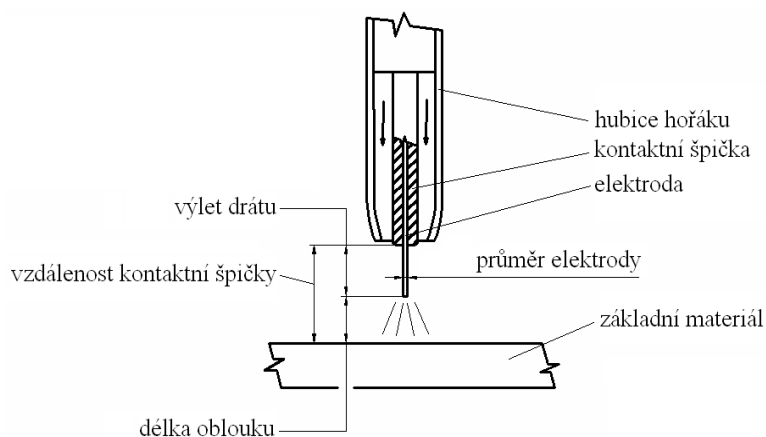
Rychlost svařování je veličina, která se nejčastěji mění, pokud chceme zproduktivnit svařovací proces. Správné hodnoty nastavení jsou závislé na ostatních parametrech a podmínkách se zřetelem na ohřev a ochlazování svarových ploch. Čím větší je rychlost svařování, tím rychleji se odevzdává teplo před obloukem a rovněž se zmenšuje teplo potřebné pro předehřev svařovaných ploch. Zvyšováním rychlosti svařování vzrůstá rychlost ochlazování materiálu po svařování. U běžných ocelí se rychlost svařování pohybuje v rozmezí přibližně $100 - 600 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, ale při mechanizovaném svařování až $120 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Účinek rychlosti svařování se projevuje na tvaru kráteru v roztavené lázni a tím i na tvaru a rozměru svarové housenky (obr. 2.10). Rychlostí svařování se ovlivňuje proudění plynu potřebného na ochranu místa svaru a jeho okolí a rovněž i rozložení napětí a deformací ve svařenci. Při mechanizovaném svařování se rychlost svařování zajišťuje programováním. [11]



Obr. 2.10: Vliv rychlosti svařování na tvar svarové housenky (w – šířka housenky, p – převýšení svaru, v – hloubka závaru)

2.2.3.4 Výlet elektrody

Výlet elektrody (drátu) je délka volného konce svařovacího drátu od konce kontaktní špičky po napájecí průvlak přívodu svařovacího proudu (obr. 2.11).



Obr. 2.11: Výlet elektrody [12]

Výlet drátu lze částečně měnit změnou vzdálenosti kontaktní špičky a svařovaného materiálu nebo rychlosti podávání drátu. V závislosti na změně výletu drátu se mění i délka oblouku. Se zvyšující se vzdáleností kontaktní špičky od materiálu klesá svařovací proud a následně je menší průvar. [9]

Při nadměrném výletu elektrody dochází k většímu rozstříku a horší ochraně tavné lázně. Klesá svařovací proud a roste odpor volného konce svařovacího drátu. Této skutečnosti se využívá, pokud chceme zabránit nadměrnému protavení.

Pokud je výlet drátu malý, tak se zvětšuje hloubka závaru a rovněž se zvyšuje tepelné namáhání kontaktní koncovky hořáku.

Výlet drátu pro zkratový přenos se nastavuje podle doporučených vztahů (7) a (8), rovněž tak se vychází z doporučených vztahů (9) a (10) nastavení vzdálenosti kontaktní špičky. [9]

Výlet drátu: [9]

$$\text{Pro CO}_2: \quad L_d = 5 + 5 \cdot d [\text{mm}] \quad (7)$$

$$\text{Pro směsné plyny:} \quad L_d = 7 + 5 \cdot d [\text{mm}] \quad (8)$$

kde:

L_d – výlet drátu [mm]

d – průměr drátu [mm]

Vzdálenost kontaktní špičky:

Pro zkratový přenos kovu: $L_p = (10 \cdot d) + 1[\text{mm}]$ (9)

Pro bezzkratový přenos kovu: $L_p = (10 \cdot d) + 3[\text{mm}]$ (10)

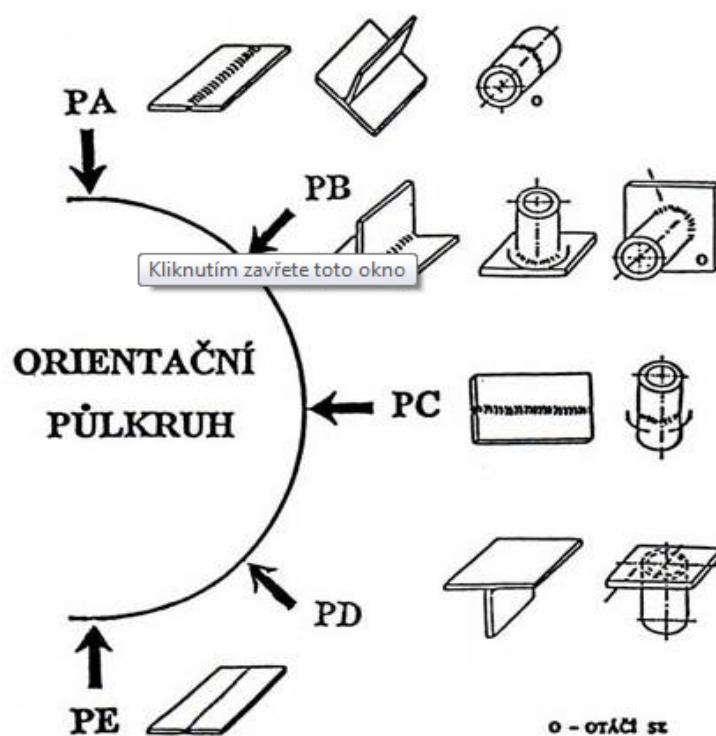
kde:

L_p – vzdálenost kontaktní špičky [mm]

d – průměr drátu [mm]

2.2.3.5 Poloha a technika svařování

Polohy svařování jsou přesně pojmenovány a označeny a popisuje je norma CSN EN ISO 6947.



Obr. 2.12: Označování poloh svařování dle normy CSN EN ISO 6947 [14]

PA – poloha vodorovná shora – vodorovný směr svařování, svislá osa svaru

PB – poloha vodorovná šikmo shora – vodorovný směr svařování, šikmá osa svaru

PC – poloha vodorovná – vodorovný směr svařování, vodorovná osa svaru

PD – poloha vodorovná šikmo nad hlavou – vodorovný směr svař., nad hlavou, šikmá osa svaru

PE – poloha vodorovná nad hlavou – vodorovný směr svařování, nad hlavou, svislá osa svaru

Na obrázku 2.12 nejsou vyobrazeny ještě další dvě polohy, které norma CSN EN ISO 6947 popisuje, a jsou to:

PF – poloha svislá nahoru – svislý směr svařování zdola nahoru

PG – poloha svislá dolů – svislý směr svařování shora dolů

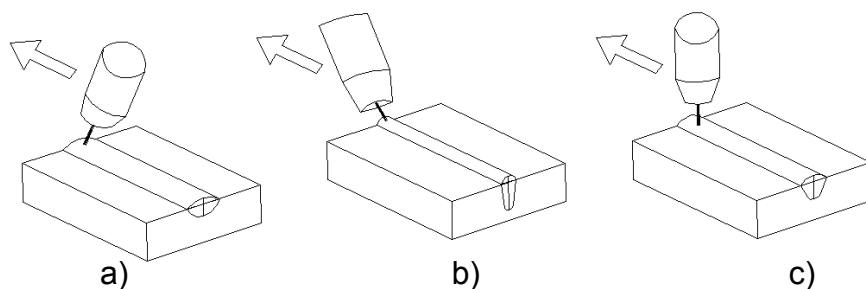
Z hlediska techniky svařování rozlišujeme tři základní styly: (obr. 2.13).

- svařování vpřed (obr. 2.13 - a)
- svařování vzad (obr. 2.13 - b)
- vertikální svařování (obr. 2.13 - c)

Při svařování vpřed podle (obr. 2.13 - a) teplo oblouku působí na větší plochu základního materiálu. Díky tomuto jevu dochází k lepšimu předeřhevnutí svarových ploch. Důsledkem je zvětšení objemu nataveného kovu pod obloukem. Vliv na geometrii svaru je snížení hloubky protavení, zvětšení šířky svarové lázně a snížení převýšení svarové housenky nad základní materiál. Svar není v oblasti kořene dokonale chráněn ochranným plynem a z toho vyplývá větší náchylnost ke vzniku vad. [12]

Při svařování vzad (obr. 2.13 - b) je roztavený kov vtlačován do oblasti svarové lázně. Z hlediska geometrie dochází při této technice ke zvýšení hloubky protavení, k velkému převýšení svaru a zmenšení šířky svaru.

Vertikální svařování (obr. 2.13 - c), dosahuje přibližně průměrných hodnot geometrie svaru mezi svařováním vzad a svařováním vpřed. [12]



Obr. 2.13 Techniky svařování [12]

2.3 Teplotní procesy při svařování

Při svařování za působení tepla dochází ve velkém rozsahu ke změnám teplot. Rozmezí teplotních změn udává jak teplota okolí, tak teplota vypařovaného kovu. V tomto teplotním rozmezí probíhá celá řada procesů: tavení základního a přídatného materiálu, metalurgické reakce ve svarové lázni, krystalizace svarového kovu spoje, strukturní a objemové změny v nataveném kovu i v základním a přídatném materiálu. V místě svaru vzniká díky přívodu tepelné energie v celém objemu základního materiálu teplotní pole (11). [13]

$$T = f(x, y, z, t) \quad (11)$$

Pokud je teplota rovněž i funkcí času, vzniká nestacionární teplotní pole. Teplotní pole může být jedno až třírozměrné v závislosti na tom, kolik souřadnic bodů je funkcí času. Základní rovnicí, která řeší a popisuje teplotní děje v okolí svaru je Fourierova diferenciální rovnice šíření tepla vedením(12).

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = a \nabla^2 T \quad (12)$$

kde:

- a - koeficient teplotní vodivosti [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
- x,y,z - kartézské souřadnice
- c - měrné teplo [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- λ - součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- ρ - měrná hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
- t - čas [s]
- T - termodynamická teplota [K]

Fourierova diferenciální rovnice vychází ze zákona o zachování energie. Teplo se šíří v prostoru z těles teplejších na tělesa studenější a to třemi základními způsoby: [13]

Vedením tepla (kondukce) – dochází k přímému styku studených částic s teplejšími

Prouděním (konvekce) – teplo je přenášeno pohybem ohřátých částic. Proudění probíhá pouze v tekutinách.

Sáláním (radiaci) – radiace nebo-li tepelné záření se šíří vlnami a při dopadu vlny na jiné těleso se přemění v teplo

2.3.1 Sdílení tepla vedením

Sdílení tepla vedením je přenos energie interakcí mezi atomy a molekulami stagnantního prostředí vznikající v důsledku nerovnoměrného rozložení teplot. Pan Fourier sestavil pro sdílení tepla vedením v homogenním prostředí rovnici (13) která popisuje, že hustota tepelného toku \vec{q} [W.m⁻²] je úměrná teplotnímu gradientu.

$$\vec{q} = -\lambda \cdot \text{grad}T \quad (13)$$

kde:

gradT - gradient termodynamické teploty T [m².s⁻¹]

λ - součinitel tepelné vodivosti [W.m⁻¹.K⁻¹]

Pokud se teplota T při vyrovnávání teplotních rozdílů v tělese mění, je sdílení tepla vedením neustálené. To má za následek, že se jedná o změny teploty v daném čase, takže termodynamická teplota T daného místa homogenního prostředí je v tomto případě funkcí souřadnic a času podle vztahu (11).[13]

Součinitel tepelné vodivosti značně ovlivňuje sdílení tepla vedením. Charakterizuje vedení tepla látkou proti směru teplotního gradientu. Součinitel tepelné vodivosti je závislý na druhu látky, hmotě, vlhkosti, struktuře, popř. tlaku a proto je jeho stanovení velmi náročné. Tepelná vodivost většiny látek je závislá na teplotě. U některých látek je tepelná vodivost závislá na teplotě lineárně. Pro součinitel tepelné vodivosti tuto závislost udává vztah (14). [13]

Lineární závislost:

$$\lambda = \lambda_0 (1 + b \cdot T) \quad (14)$$

kde:

λ_0 - tepelná vodivost při teplotě 0°C [W.m⁻¹.K⁻¹]

b - konstanta

T - teplota [K]

Jiné látky mají závislost na teplotě parabolickou. Nejnižší hodnotu tepelné vodivosti vykazují plyny, nejvyšší kovy. Tepelná vodivost kovů je obecně vyjádřena superpozicí tepelné vodivosti fotononového a elektronového podsystemu, tj. vodivostí prostorové mřížky (λ_m) a vodivostí vznikající v důsledku tepelných vibrací volných elektronů (λ_e). Pak je tepelná vodivost dána vztahem (15). [13]

Parabolická závislost:

$$\lambda = \lambda_m + \lambda_e \quad (15)$$

kde:

- λ - celková tepelná vodivost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- λ_m - tepelná vodivost mřížky [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- λ_e - celková tepelná vodivost elektronů [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

Při řešení obecných úloh sdílení tepla vedením musíme ještě Fourierovu diferenciální rovnici vedení tepla (12) rozšířit o výkon vnitřních zdrojů. Jedná se o tzv. obecnou rovnici vedení tepla v homogenním prostředí, jejíž tvar popisuje rovnice (16). [13]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{c_p \cdot \rho} q_0 \quad (16)$$

kde:

- a - součinitel teplotní vodivosti [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
- x, y, z - kartézské souřadnice
- c_p - měrná tepelná kapacita při stálém tlaku [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- λ - součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- ρ - hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
- q_0 - tepelný výkon vnitřních zdrojů [$\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$]
- T - termodynamická teplota [K]

2.3.2 Sdílení tepla prouděním

Proudění může probíhat pouze v tekutinách. Proudění neboli konvekce se dělí na přirozenou nebo nucenou. Přirozená konvekce vzniká, pokud teplotní rozložení v tekutině, na kterou působí pole objemových sil, vyvolá rozdíl hustot. Jakmile je proudění vyvoláno čerpadlem, hovoříme o konvekci nucené.

Při samovolném proudění, zejména za působení vnějších sil dochází k turbulentnímu proudění. To je typické pro svarovou lázeň.

Teplo přenesené prouděním při turbulentním proudění popisuje "Newtonův ochlazovací zákon"(17).

$$q_n = \alpha \cdot (T_K - T_S) \quad (17)$$

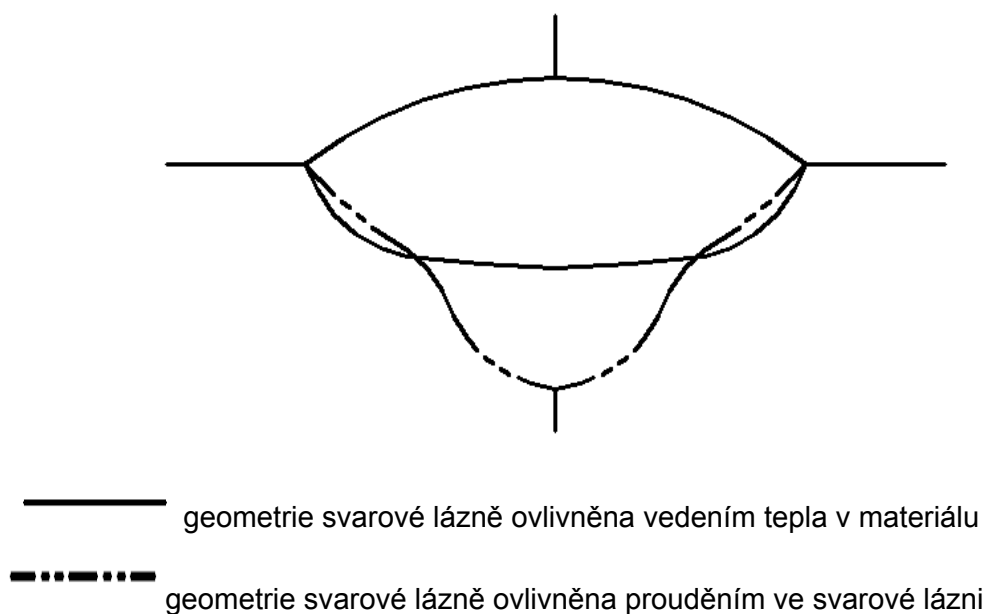
kde:

α - součinitel přestupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

$(T_K - T_S)$ - rozdíl teplot mezi kapalinou a teplosměnnou plochou [K]

Součinitel přestupu tepla α závisí na vlastnostech chladícího média, typu proudění, geometrickém uspořádání a jakosti povrchu. Přímé určení jeho velikosti je však velmi obtížné. Pro některá média jsou používané intervaly tabelovány.

Přenos tepla prouděním v tavné lázni není z hlediska složitého matematického popisu a následné simulace do současné doby zcela prozkoumán. Přenos tepla, který je ovládán prouděním ve svarové lázni nastává až při vysokých výkonech a rychlostech svařování. Za nižších hodnot je vliv proudění zanedbatelný a přenos tepla je nejvíce ovlivněn vedením. Rozdíl geometrií svarových lázní utvářených vedením nebo prouděním je patrný z obr. 2.14.



Obr. 2.14 Vliv vedení a proudění na geometrii svarové lázně [12]

2.3.3 Sdílení tepla sáláním

Přenos tepla sáláním je způsoben elektromagnetickým vlněním, které se šíří v prostoru rychlostí světla. Nositel přenášené energie jsou elektromagnetické vlny. Moderní teorie zářivého přenosu tepla je vybudována na základě teorie magnetických vln a kvantové teorie. Závislost celkové vyzařované energie na teplotě vyjadřuje Stefan-Boltzmannův zákon (18). [13]

$$E = \sigma_B \cdot T^4 \quad (18)$$

kde:

E - celková vyzařovaná energie [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

σ_B - Stefan-Boltzmannova konstanta ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-4}$)

T - termodynamická teplota [K]

Sáláním se mění tepelná energie na zářivou a šíří se do prostoru. Při dopadu na jiné těleso je tato energie zčásti pohlcena, zčásti odražena a část tělesem projde. Dokonale černé těleso všechno záření pohltí. Velmi často nastává přenos tepla sáláním a prouděním současně. Zářivá energie se přenáší elektromagnetickým vlněním různé vlnové délky. Od ostatních způsobů přenosů energie se liší tím, že nepotřebuje zprostředkující látky, proto lze energii přenášet zářením i přes vakuum.

2.4 Svařovací dráty pro MIG/MAG svařování

Dráty pro metodu MIG/MAG se vyrábějí v několika tloušťkách a v podobě plných nebo plněných (trubičkových) drátů. Nejčastěji používané plné svařovací dráty bývají o průměru 0,8 až 1,2 mm. Dodávají se na cívkách o hmotnosti nejčastěji 15 kg.

Podle složení přídatného drátu se určuje, s jakým typem základního materiálu bude za daných podmínek tvořit kvalitní svar.

Při návrhu přídatných materiálů se nejčastěji postupuje podle těchto pravidel:

- chemické složení přídatného materiálu musí zaručit svarový kov o chemickém složení stejném nebo podobném chemickému složení základnímu materiálu

- u mechanicky namáhaných konstrukcí, se přídatný materiál vybírá tak, aby mez kluzu svarového kovu nebyla nižší než mez kluzu svařované konstrukce
- pro svařování materiálů náchylných na tvorbu trhlin je nutné použít takový přídatný materiál, který zaručí svarový kov s nižší náchylností na vznik trhlin, než má základní materiál
- pro svařování materiálů se specifickými fyzikálními vlastnostmi a vysokou odolností proti korozi je třeba volit takové přídatné materiály, které zaručí svarový kov stejného chemického složení a stejné chemické čistoty jako má základní materiál

2.5 Ochranné plyny

Hlavní úlohou ochranných plynů je zamezit přístupu okolní atmosféry do oblasti roztaveného kovu, tj. především chránit elektrodu, oblouk i tavnou lázeň, její okolí a kořen svaru před účinky vzdušného kyslíku, který způsobuje oxidaci, naplynění, pórovitost a propal prvků. [11]

Ochranné plyny mají také významný vliv na:

- typ přenosu kovu v oblouku
- přenos tepelné energie do svaru
- chování tavné lázně
- hloubku závaru
- rychlost svařování

Jako ochranné plyny pro metodu MAG se používá čistý plyn oxid uhličitý CO_2 , nebo v současnosti častěji používané vícesložkové směsné plyny se základem argonu: $\text{Ar} + \text{CO}_2$, $\text{Ar} + \text{O}_2$, $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ a $\text{Ar} + \text{He} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$. Čistota plynů a přesnost míchání směsí jsou stanovené normou ČSN EN 439.

Ar + CO_2 (argon + oxid uhličitý)

- pokud je nejmenší obsah 5% CO_2 , je vhodný pro svařování krátkým obloukem
- s obsahem 5 – 10% CO_2 ve směsi pro nelegované a nízkolegované ocele, pro přenos sprchový nebo zkratový
- nejčastěji s obsahem 18 – 20% CO_2 ve směsi na svařování sprchovým přenosem s minimálním rozstříkem středně a vysokolegovaných ocelí

- v nucených polohách svařování jeho vlastnosti lepší s rostoucím % CO₂, v normální je dobrý
- tepelné zatížení hořáku je vysoké, ale klesá se snižujícím se % CO₂
- stupeň oxidace je nízký, avšak stoupá s rostoucím % CO₂
- porozita se snižuje s rostoucím obsahem CO₂
- přemostitelnost mezery se zlepšuje s poklesem % CO₂
- rozstřík stoupá s rostoucím % CO₂
- vhodný pro všechny přenosy kovu v oblouku
- nižší rychlost ochlazování
- menší nebezpečí vzniku trhlin
- větší vnášení tepla do svaru s rostoucím % CO₂

CO₂ (oxid uhličitý)

- pro přenos krátkým obloukem, zkratovým a v mezioblasti zkratového přenosu
- má dobré vlastnosti v normální poloze svařování a rovněž je spolehlivý v nucené poloze
- přemostitelnost mezery je horší než u směsných plynů
- vysoká tvorba rozstříku, která stoupá s výkonem
- vysoké vnášení tepla
- malá rychlost ochlazování
- malé nebezpečí vzniku trhliny

2.6 Proces svařování v systému jakosti

K získání kvalitního a funkčního svaru je třeba sledovat jakost svaru za pomoci daných norem. Z hlediska svarového spojení se musí každá jednotlivá vada posuzovat samostatně. U vícenásobných vad lze chybu posuzovat pouze, nejsou-li překročeny mezní hodnoty pro jednotlivou vadu. Kterékoliv dvě sousedící vady, které jsou od sebe vzdálené na vzdálenost menší, než je hlavní rozměr menší vady, musí být posuzovány jako jednotlivé vady. Různé vady, které zeslabují plochu průřezu, vyžadují zvláštní pozornost. [15]

Pro zajištění systému jakosti při svařování je využíváno mnoho norem. V této práci budou uvedeny dvě, které byly využity pro vyhodnocení svarů v experimentální části.

ČSN EN ISO 6520-1

Klasifikace geometrických vad podle ČSN EN ISO 6520-1 se rozlišují podle:

- | | |
|---------------------------|---|
| ▪ oblasti výskytu | povrchové - trhliny, vruby, neprůvary
vnitřní - plynové dutiny, vměstky, studené spoje |
| ▪ přímé rozlišitelnosti | zjevné - pozorovatelné pouhým okem
skryté - zjistitelné pomocí speciální techniky |
| ▪ geometrického tvaru | plošné - trhliny, studené spoje, neprůvary
objemové - vměstky, plynové dutiny |
| ▪ přípustnosti ve výrobku | přípustné - splňující kritéria jakosti
nepřípustné - překračující kritéria jakosti |
| ▪ opravitelnost vady | opravitelné
neopravitelné |

Geometrické vady podle normy ČSN EN ISO 6520-1 vznikají ve výrobě.

ČSN EN ISO 5817

Tato mezinárodní norma napomáhá při tvorbě prováděcích předpisů nebo jiných výrobních norem při tavném svařování. Účelem této normy je specifikovat rozměry typických vad, které mohou vzniknout v běžné výrobě.

Norma definuje určování stupňů jakosti, které jsou tři:

- B – vysoký,
- C – střední
- D – nízký

Popisuje vizuální kontrolu svaru přímou či nepřímou metodou bez užití pomůcek, za užití jednoduchých pomůcek nebo pomocí technických zařízení. Kontrolované součásti musí být při kontrole řádně osvětleny denním nebo umělým světlem.

Zkoušky svarových spojů se dále dělí na zkoušky bez porušení celistvosti svaru, tzv. zkoušky nedestruktivní a na zkoušky s porušením celistvosti svarového spoje – zkoušky destruktivní.

Nedestruktivní zkoušky

Máme několik typů nedestruktivních zkoušek, které se používají k vyhodnocování svarů v závislosti na požadavcích kvality a ekonomickém hledisku. Mimo vizuální zkoušky je u dalších typů nedestruktivních zkoušek zapotřebí využívat speciálních zařízení a přístrojů. Způsoby vyhodnocení u nedestruktivních zkoušek jsou popsány příslušnými normami a provádět je může pouze vyškolený personál.

Typy nedestruktivních zkoušek:

1. VT – Vizuální zkoušení
2. RT – Zkoušení radiografickou metodou
3. UT – Zkoušení ultrazvukem
4. MT – Zkoušení magnetickou práškovou metodou
5. PT – Zkoušení kapilární metodou
6. AT – Zkoušení akustickou emisí
7. ET – Zkoušení vířivými proudy
8. LT – Zkoušení netěsností (kromě tlakové zkoušky vodou)
9. NT – Neutronová radiografie
10. IT – Infračervená termografie

Zkoušky destruktivní

Zkoušky destruktivní se užívají tam, kde chceme přesně zjistit mechanické vlastnosti svarového spoje, nebo jeho přesné vyobrazení struktury pro následné vyhodnocení dle norem. Získané výsledky zkoušek jsou velmi důležité pro další využití v praxi. Stejně jako u nedestruktivních zkoušek je způsob vyhodnocení popsán příslušnými normami a provádět je může pouze vyškolený personál.

Typy destruktivních zkoušek:

1. Příčná zkouška tahem
2. Zkouška lámavosti
3. Zkouška rázem v ohybu
4. Zkoušky tvrdosti
5. Makroskopická kontrola svaru
6. Zkouška rozlomením

2.7 Monitorování a záznam veličin svařovacího procesu

Monitorování a záznam veličin svařovacího procesu napomáhá nejen ke zproduktivnění a optimalizaci procesu svařování, ale umožňuje i případné odhalení chyb ve svarech. V současné době existuje několik různých systémů umožňujících monitorizaci svařovacích parametrů.

Jedním z nejvyužívanějších monitorovacích systémů je systém WELDMONITOR řady 4.0. Tento systém lze připojit na libovolný svařovací zdroj bez ohledu na jeho typ a výrobce. Zároveň se systém připojuje k řídicímu počítači. V reálném čase zaznamenává a měří s vysokou přesností hodnoty zvolených svařovacích parametrů. Frekvenční rozsah zařízení je možné nastavit v širokém intervalu. Maximální frekvence snímání je u tohoto systému 25000 Hz, což zaručuje spolehlivou diagnostiku při různých typech přenosu kovu v oblouku. Tento systém monitorování lze využít jak při kusové nebo malosériové výrobě, tak i v automatizovaném procesu svařování pro sériové sledování kvality svařovaných výrobků.

Sledované veličiny:

- Svařovací proud (okamžitý i efektivní).
- Svařovací napětí (okamžité i efektivní).
- Čas svařování.
- Rychlost pohybu svařovacího hořáku.
- Rychlost podávání drátu.
- Vnesené teplo na jednotku délky.
- Spotřeba drátu.
- Průtok ochranných plynů.

Pro sledování těchto veličin se používá soubor jednotlivých snímačů a modulů, tak jak je ukázáno na obrázku 2.15. Jedná se o následující moduly a snímače:

- modul pro manuální ovládání programu
- modul pro snímání proudu a napětí
- snímač relativní vlhkosti vzduchu v okolí
- snímač teploty vzduchu v okolí
- snímač teploty materiálu

- snímač rychlosti pojezdu
- snímač průtoku plynu (hubice, ochrana kořene a vlečná ochrana)

Program dále obsahuje databázi firem, svářečů a jejich zkoušek, zařízení, základních materiálů, přídavných materiálů, plynů, dozorů svařování, postupů svařování (WPS, WPQR, atd.) a záznamy průběhu svařování jednotlivých svarů s možností uložení do digitální fotografie.

Program také nabízí možnosti několika typů výstupů jako je tisk, fotografie atd. Je možné si následně vyvolat z paměti celý průběh svařování a podrobně v grafech sledovat jednotlivé parametry. Taktéž je v tomto programu umožněno porovnávat proud a napětí dvou nasnímaných housenek z libovolných svarů v jednom společném grafu. [16]



obr. 2.15 Soubor jednotlivých snímačů a modulů systému WeldMonitor [16]

2.8 Matematická statistika

Matematická statistika je vědním oborem, který zkoumá variabilitu a velmi často využívá postupy maticového počtu. Zabývá se shromažďováním, klasifikací, popisem a interpretací dat získaných při sociálních průzkumech, vědeckých experimentech a klinických zkouškách. Matematická statistika se zabývá variabilitou neboli kolísáním či výkyvy. Využívá individuální odlišnosti ve skupině zachycením variability pomocí metod, jako je výpočet rozpětí a směrodatné odchylky. [17]

Známe dva typy statistických rozdělení:

- rozdělení četností
- pravděpodobnostní rozdělení

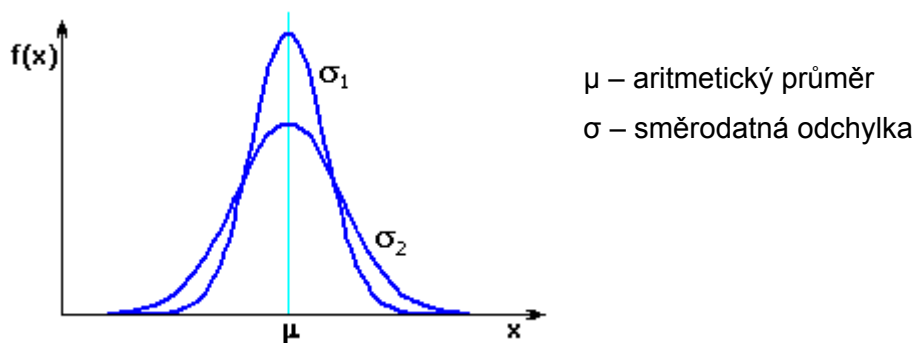
Pravděpodobnostní rozdělení se ve statistice užívá k interpretaci výsledkům ze souboru dat, který byl analyzován za použití různých statistických postupů.

Máme celkem šest základních pravděpodobnostních rozdělení:

- binomické rozdělení – popisuje pravděpodobnost kombinací dvou výsledků, které se mohou, ale nemusí objevit
- poissonovo rozdělení – popisuje počet zřídka se vyskytujících jevů ve velkém počtu nezávislých opakovaných pokusů
- normální rozdělení – rozšiřuje binomické rozdělení, užívá se pro spojitá data
- rozdělení chí-kvadrát – využívá testu dobré shody pro diskrétní data, jejichž rozdělení může odpovídat křivce jakéhokoliv tvaru
- studentovo rozdělení – analyzuje rozptyl, testuje střední rozdíl mezi dvěma párovanými výběrovými soubory, testuje střední rozdíl mezi středy dvou nezávislých výběrových souborů, testuje regresní koeficienty
- rozdělení f – zkoumá rozdíl mezi dvěma jakýmkoli průměry, aby se lokalizovalo místo, kde se rozdíly nalézají

Normální rozdělení

V moderní statistice hraje normální rozdělení významnou roli. Normální rozdělení náleží mezi rozdělení spojitá a má vztah k binomickému rozdělení tak, že binomické rozdělení může přecházet v rozdělení normální. Někdy se nepřesně označuje jako Gaussovo rozdělení. To je způsobené tím, že křivka popisující normální rozdělení se jmenuje Gaussova (obr. 2.16). Funkce normálového rozdělení je popsána funkcí ve vzorci (19). [17]



obr. 2.16 Zobrazení dvou typů průběhu Gaussovy křivky normálního rozdělení [18]

Matematický popis Gaussovy křivky

$$f(x_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_i-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (19)$$

kde:

σ – směrodatná odchylka

x_i – měřená hodnota

μ – aritmetický průměr

Normální rozdělení má především velmi příjemnou vlastnost, která lehce vysvětluje jeho oblibu: ať už jde o jakékoliv objekty, úkazy, měření nebo sčítání, jsou vždy jednoznačně určeny střední hodnotou a směrodatnou odchylkou. Střední hodnotou se rozumí zpravidla aritmetický průměr. [17]

Velmi důležitým případem normálního rozdělení je rozdělení $N(0,1)$. Tedy normální rozdělení s parametry $\mu = 0$ a $\sigma^2 = 1$. Toto rozdělení se nazývá normované normální rozdělení. Má-li náhodná veličina U rozdělení $N(0,1)$, pak její hustota pravděpodobnosti má tvar (20). [19]

Matematický popis normálního normovaného rozdělení:

$$f(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x_i^2}{2}} \quad (20)$$

kde:

x_i – měřené hodnoty se pohybují v intervalu $-\infty < x_i < \infty$

Aritmetický průměr

Pod slovem průměr si většina lidí představí aritmetický průměr. Aritmetický průměr získáme součtem všech hodnot v daném souboru dat a jeho vydělením celkovým počtem případů (21). [17]

Aritmetický průměr:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (21)$$

kde:

n – celkový počet

x_i – hodnota měření

Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka je mírou variability. Ukazuje, jak široce nebo jak úzce se rozprostírají hodnoty určitého souboru dat v rozdělení a nakolik se každá jednotlivá hodnota odchyluje od aritmetického průměru. Velká směrodatná odchylka vypovídá o tom, že dané rozdělení četností je od aritmetického průměru široce rozptýleno. Malá směrodatná odchylka ukazuje, že rozdělení četností se soustřeďuje v jeho blízkosti a že dochází jen k malé variabilitě mezi jednotlivými pozorováními. Směrodatná odchylka se určí jako druhá odmocnina průměru druhých mocnin odchylek (22). [17]

Směrodatná odchylka:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n}} \quad (22)$$

kde:

n – celkový počet

x_i – hodnota měření

μ – aritmetický průměr

Variační koeficient

Chceme-li posoudit, je-li variabilita malá nebo velká, porovnáme směrodatnou odchylku s průměrem (23). Variační koeficient je použitelný i při porovnávání variabilních proměnných, které jsou v různých měrných jednotkách. [17]

Variační koeficient:

$$v_x = \frac{s}{\mu} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (23)$$

kde:

μ – aritmetický průměr

s – směrodatná odchylka

3 Experimentální část

Cílem experimentální části této diplomové práce bylo zjistit vliv různých tloušťek materiálů, respektive rozdílných odvodů tepla na geometrii svarové lázně při svařování metodou MAG. Vlastní experimentální část se týkala koutových svarů a byla provedena na vzorcích plechů o tloušťce 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12 a 16 milimetrů. Svařování bylo provedeno ve dvou svařovacích režimech a to jak pro bezzkratovou oblast přenosu kovu, tak i pro zkratovou oblast přenosu kovu.

3.1 Plán experimentální činnosti

Veškeré experimenty proběhly na základě plánu experimentů. Při sestavování těchto plánů se vycházelo z potřeby zjištění závislosti vlivu rozdílných odvodů tepla na výslednou geometrii svarové lázně. Aby bylo možné eliminovat případné náhodné jevy či nepřesnosti při svařování a geometrii svarů následně statisticky vyhodnotit, bylo pro každou tloušťku materiálu provedeno minimálně sedm svarů. V tabulce 3.1 je plán experimentů pro zkoumání vlivu tloušťky materiálu na geometrii svarové lázně v oblasti bezzkratového přenosu kovu a v tabulce 3.2 v oblasti zkratového přenosu kovu. Nastavované svařovací parametry byly navrženy na základě předchozích zkušeností u koutových svarů provedených metodou MAG u vzorků tloušťky $S = 5$ mm. V tabulkách je zároveň uvedeno označení jednotlivých svarů a také nastavený svařovací proud, rychlost svařování a počet provedených experimentů. Veškeré svařování proběhlo v synergickém režimu. Hodnoty svařovacích parametrů byly v reálném čase monitorovány a zaznamenány pomocí systému WeldMonitor se vzorkovací frekvencí 25 000 Hz.

Tab. 3.1: Nastavené svařovací parametry bezzkratového procesu

tloušťka materiálu [mm]	Označení	Proud [A]:	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]:	počet vzorků
S = 3	S3c001 - S3c007	240	0,5	7
S = 4	S4c001 - S4c008	240	0,5	8
S = 5	S5c106 - S5c111, S5c061	240	0,5	7
S = 6	S6c001 - S6c007	240	0,5	7
S = 8	S8c001 - S8c007	240	0,5	7
S = 10	S10c021 - S10c027	240	0,5	7
S = 12	S12c001 - S12c007	240	0,5	7
S = 16	S16c051 - S16c057	240	0,5	7

Tab. 3.2: Nastavené svařovací parametry zkratového procesu

tloušťka materiálu [mm]	Označení	Proud [A]:	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]:	počet vzorků
S = 3	S3c008 - S3c015	140	0,2	8
S = 4	S4c009 - S4c015	140	0,2	7
S = 5	S5c114 - S5c120, S5c006, S5c112	140	0,2	9
S = 6	S6c008 - S6c014	140	0,2	7
S = 8	S8c008 - S8c014	140	0,2	7
S = 10	S10c028 - S10c035	140	0,2	8
S = 12	S12c008 - S12c015	140	0,2	8
S = 16	S16c001 - S16c007	140	0,2	7

Plán experimentů počítal s vytvořením celkem 112 experimentálních, kompletně monitorovaných svarů. Pro zkratovou oblast 56 kusů a pro bezzkratovou oblast stejný počet kusů. V průběhu svařování však byl tento počet částečně navýšen.

3.2 Postup experimentálních prací

Postup prací u jednotlivých vzorků vycházel z plánu experimentů a byl u všech vzorků stejný.

Postup při přípravě a vyhodnocení vzorků:

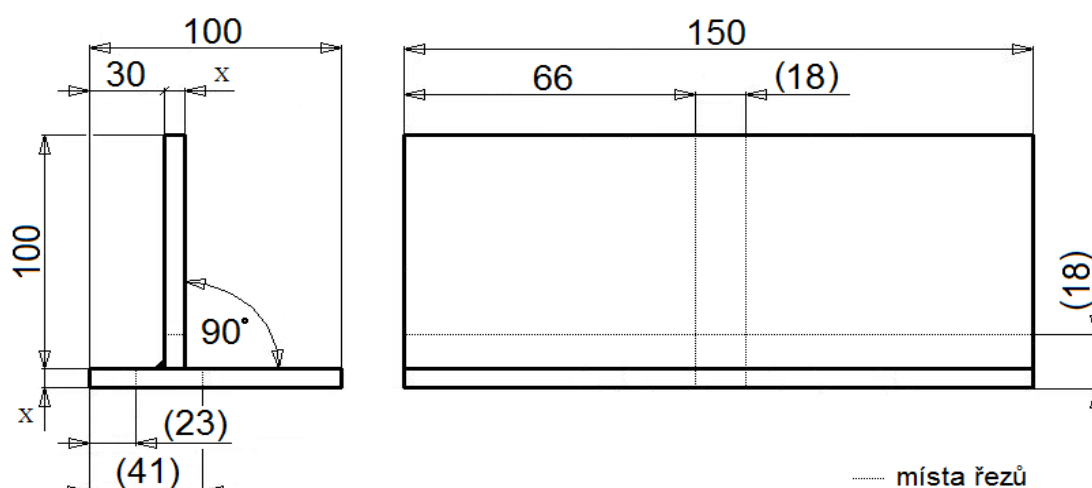
1. Příprava vzorků.
2. Svaření vzorků podle plánu experimentů.
3. Monitorování svařovacích parametrů
4. Rozřezání vzorků a příprava pro metalografické zpracování.
5. Metalografické zpracování a naleptání vzorků.
6. Geometrické vyhodnocení svarové lázně.
7. Vyhodnocení získaných závislostí.

3.2.1 Příprava vzorků

Pro účely experimentu byla vybrána jako základní materiál nelegovaná nízkouhlíková ocel 11 373 vhodná pro svařování ocelových konstrukcí. Využito bylo plechů síly 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12 a 16 mm o délce 150 mm a šířce 100 mm. Vzorky z plechů tloušťky 3 – 6 mm byly sestaveny z nastříhaných, za studena válcovaných plechů a vzorky z tlouštěk 8 – 16 mm byly sestaveny z plochých tyčí válcovaných za tepla. Šířka a délka plechů vzorků byla volena dle předchozích zkušeností, jednak

z hlediska zajištění dostatečného odvodu tepla z místa svarů a získání ustáleného teplotního pole, ale také z hlediska ekonomického.

Jednotlivé plechy byly v místě dosedací plochy obrobena tak, aby byly eliminovány deformace po stříhání, případně nepřesnosti po dělení kyslíko-acetylenovým plamenem. Touto operací se zároveň vyřešila i problematika svarové mezery, kterou je nyní možné považovat za nulovou a tudíž i geometrii jednotlivých vzorků v oblasti svaru za konstantní. Vzorky z oceli válcované za tepla byly zároveň očištěny od rzi a okují, aby se tyto nečistoty neprojevyly na kvalitě svarové lázně. Všechny vzorky byly sestehovány v přípravku, aby byla zajištěna jejich kolmost a rozměrová přesnost tak, jak je naznačeno na obrázku 3.1.



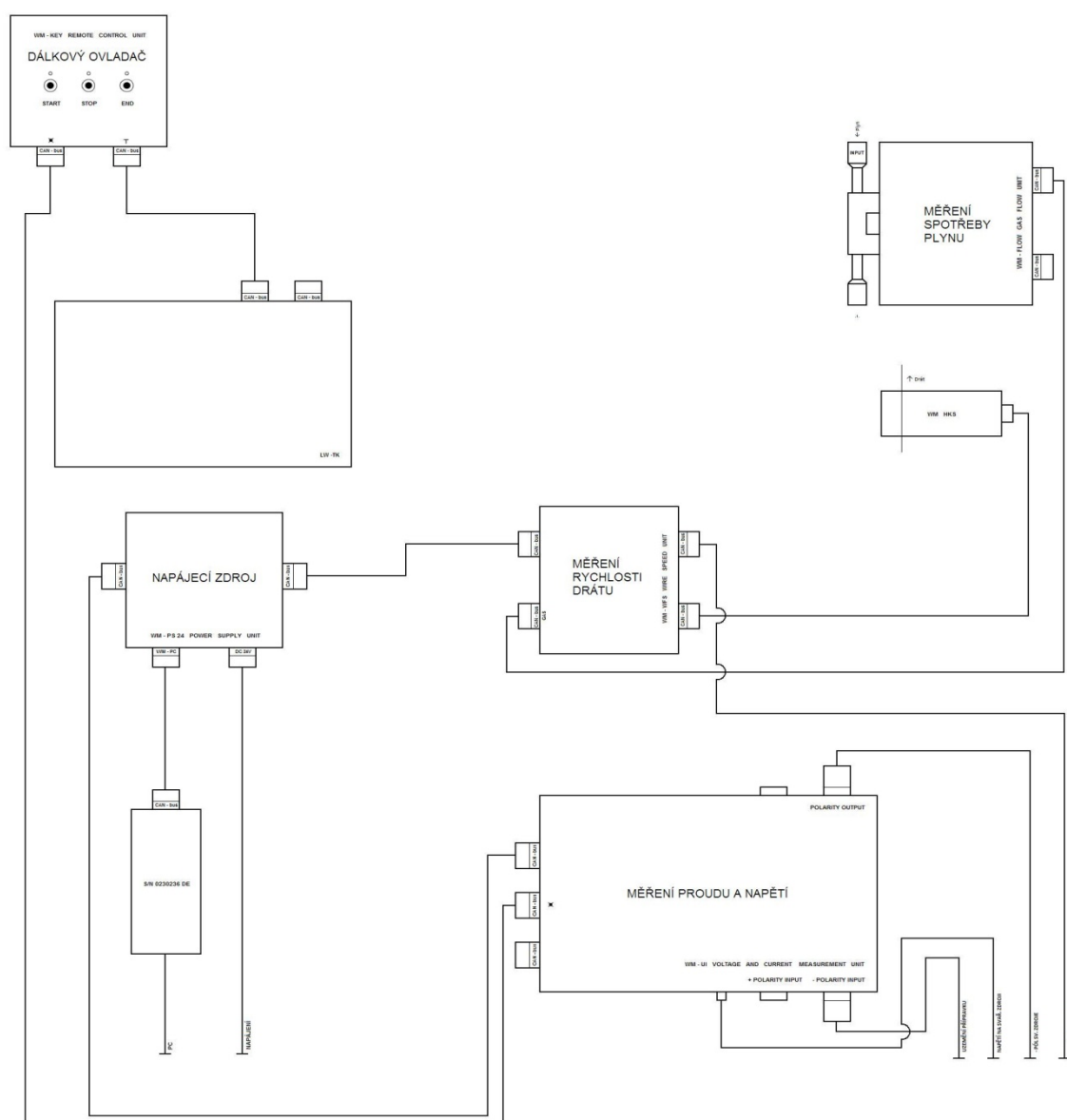
Obr. 3.1: Rozměry vzorku po sestavení v přípravku s naznačenými místy odběru vzorků

3.2.2 Svařování vzorků

Svaření nastehovaných vzorků proběhlo v laboratořích svařování katedry strojírenské technologie (obr. 3.2.). Jako zdroj byl použit svařovací zdroj MIGATRONIC BDH 550 PulsSync, propojený s lineárním automatem umožňujícím plynulé nastavení rychlosti svařování v rozmezí $0,2 - 2,3 \text{ m.min}^{-1}$. Celý svařovací proces byl monitorován systémem WeldMonitor pro monitorizaci svařovacích parametrů s frekvencí záznamu 25 kHz. Na obrázku 3.3 je vidět schématické zapojení tohoto systému. Všechny vzorky byly svařeny ve speciálním univerzálním přípravku (obr. 3.4) zhotoveném pro svařování tupých i koutových svarů. Tento přípravek umožňuje kromě nastavení úhlu svařování a geometrické polohy vzorku také přesné definování součinitele přestupu tepla do okolí, což je velmi důležité a výhodné zejména při měření teplotních polí pro využití při simulačních výpočtech.



Obr. 3.2 Laboratoř svařování

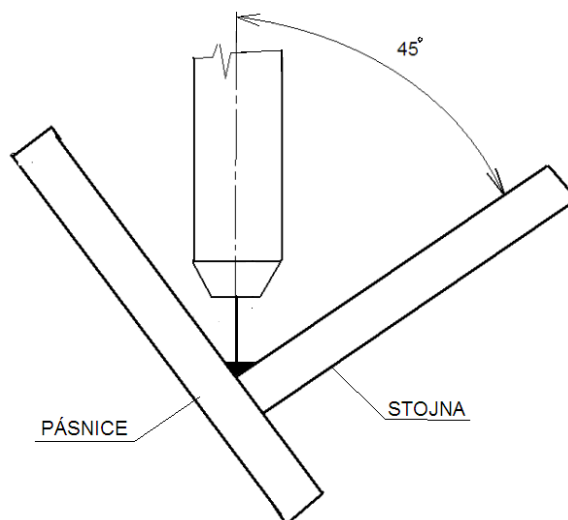


Obr. 3.3 Schéma zapojení Systému Weld monitor



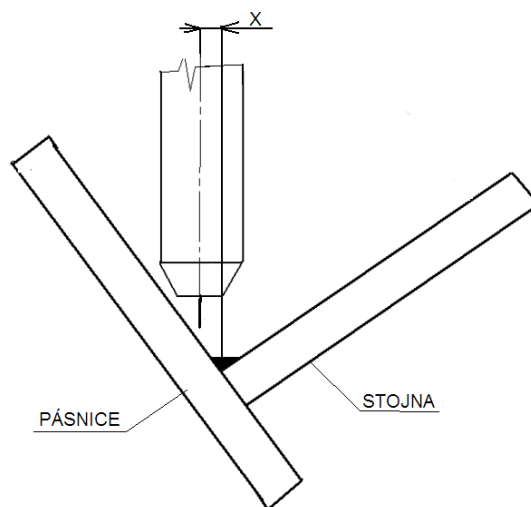
Obr. 3.4 Speciální přípravek

Z hlediska svařovací polohy byly vzorky svařovány koutovým svarem do úžlabí v poloze vodorovné shora PA. Postavení hořáku oproti stojně a pásnici bylo pod úhlem 45° (obr. 3.5), což odpovídá normě CSN EN ISO 6947. Také ve směru svařování nebyl hořák vykloněn a svíral se vzorkem úhel 90° . Při svařování vyššími proudy (oblast bezzkratového přenosu kovu), směřovala osa hořáku přímo do spojnice stojiny a pásnice tak jak je naznačeno na schematickém obrázku 3.5. Směr svařování byl zleva doprava. Vzdálenost kontaktní špičky od spojnice stojiny a pásnice byla 14 mm. Při změnách tloušťky vzorku bylo vždy nutné polohu hořáku upravit tak, aby byly pro všechny vzorky dodrženy stejné podmínky.



Obr. 3.5 Schéma polohy svařování nastehovaných vzorků vůči hořáku

Při svařování ve zkratovém režimu bylo na základě zkušeností z předešlých experimentů potřeba hořák vyosít o 0,8 mm ve směru do pásnice, tak jak je ukázáno na schematickém obrázku 3.6, toto vyosení je potřebné z hlediska nerovnoměrného odvodu tepla stojnou a pásnicí zejména při svařování nižšími proudy.



Obr. 3.6 Schéma vyosení hořáku při svařování zkratovým procesem

Pro potřeby experimentu byl použit poměděný přídatný drát OK AUTROD 12.51 od firmy ESAB o \varnothing 1,2 mm. Tento přídatný drát je vhodný především pro svařování nelegovaných konstrukčních ocelí. Lze jej využít i v oblasti vysokovýkonného svařování a je předurčen pro mechanizovaná a robotizovaná pracoviště. V tabulce 3.3 jsou uvedeny základní technické parametry drátu drát OK AUTROD 12.51. [20]

Tab. 3.3: Technické parametry svařovacího drátu ESAB OK AUTROD 12.51

Doporučený svařovací proud	120 - 380 [A]
Doporučené napětí	18 - 34 [V]
Doporučená rychlost podávání	2,5 - 15 [m.min ⁻¹]
Výkon svařování	1,3 - 8 [kg.h ⁻¹]
Chemické složení drátu	C - 0,09%; Si - 0,9%; Mn - 1,5%
Mez Kluzu	nad 470 [MPa]
Pevnost	do 530 [MPa]
Tažnost	do 26%

Jako ochranný plyn byl využit dvousložkový plyn od firmy AIR Products s označením EUROMIX® M21. Jedná se o dvousložkový ochranný plyn vhodný pro svařování uhlíkových nelegovaných a nízkolegovaných ocelí metodou MAG. Jeho složení Ar/CO₂ je v poměru 82/18. Plyn je vyráběn a plněn standardními výrobními postupy podle normy ISO 9001:2000. Lahve jsou plněny na tlak 30 MPa při teplotě 15°C. [21]

V systému základní materiál, přídatný materiál a ochranný plyn se tedy jednalo o kombinaci velice často využívanou výrobcí ocelových konstrukcí.

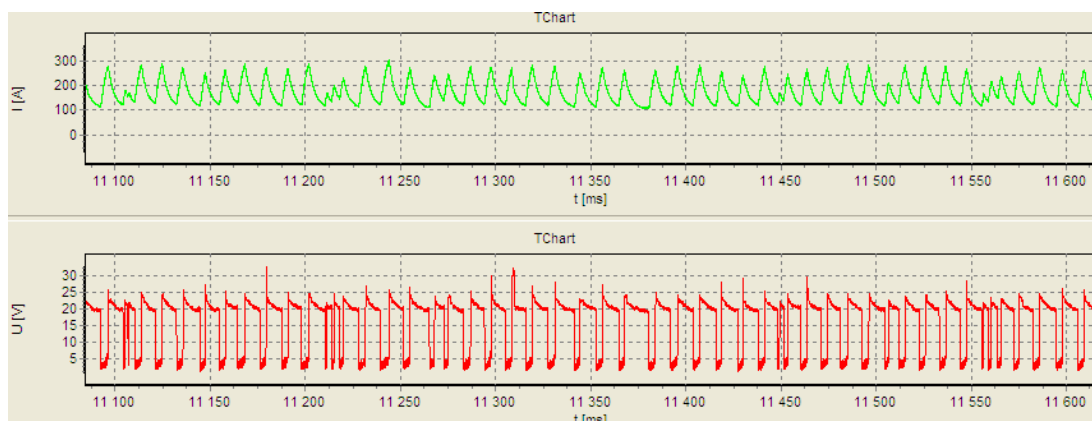
3.2.3. Monitorizace svařovacích parametrů systémem WeldMonitor

Všechny vzorky uvedené v této diplomové práci byly kompletně monitorovány systémem WeldMonitor. Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.7, tento systém umožňuje monitorovat svařovací parametry s vysokou frekvencí záznamu. Z hlediska porovnání svařovacích parametrů jsou pro nás důležité především tyto parametry:

- Skutečný svařovací proud (Efektivní proud)
- Skutečné svařovací napětí (Efektivní napětí)
- Skutečná rychlost podávání drátu
- Skutečná rychlost svařování.

V tabulce 3.4 jsou uvedeny tyto změřené svařovací parametry pro vzorky vytvořené při bezzkratovém přenosu kovu a v tabulce 3.5 jsou uvedeny svařovací parametry pro vzorky vytvořené při zkratovém přenosu kovu. Mimo těchto již zmíněných parametrů jsou v tabulkách 3.4 a 3.5 uvedeny i údaje o vneseném teple, průtoku plynu, spotřebě drátu a údaje o nastavovaných hodnotách svařovacího proudu a rychlosti svařování. Mimo těchto údajů je program WeldMonitor schopen ukázat detailní grafický záznam svařovacích parametrů jak je ukázáno na obrázku

3.7. V tomto případě se jedná o záznam svařovacího proudu a napětí u vzorku S6c011 svařeného ve zkratovém režimu.



Obr. 3.7 Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor pro vzorek S6c011

Tab. 3.4: Naměřené hodnoty svařovacích parametrů pro bezzkratový proces

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S3c001	240	0,5	250,3	22,80	0,54	6,794	0,916	0,501	16,5
S3c002	240	0,5	250,5	22,80	0,56	6,810	0,959	0,507	16,4
S3c003	240	0,5	250,9	22,80	0,56	6,817	0,953	0,510	16,4
S3c004	240	0,5	249,5	22,90	0,58	6,823	0,958	0,503	16,4
S3c005	240	0,5	248,5	22,90	0,57	6,829	0,954	0,504	16,4
S3c006	240	0,5	250,2	22,90	0,58	6,834	0,956	0,508	16,4
S3c007	240	0,5	248,0	22,90	0,56	6,837	0,958	0,510	16,4
průměr	240	0,5	249,7	22,86	0,56	6,821	0,951	0,506	16,4
S4c001	240	0,5	248,5	22,91	0,58	6,826	0,956	0,504	16,2
S4c002	240	0,5	246,5	23,00	0,58	6,819	0,952	0,500	16,2
S4c003	240	0,5	248,0	22,90	0,56	6,820	0,955	0,505	16,2
S4c004	240	0,5	247,8	22,90	0,59	6,828	0,954	0,499	16,2
S4c005	240	0,5	248,8	22,90	0,59	6,828	0,961	0,505	16,2
S4c006	240	0,5	247,3	23,00	0,58	6,831	0,961	0,507	16,2
S4c007	240	0,5	249,5	22,90	0,56	6,830	0,960	0,508	16,2
S4c008	240	0,5	251,8	22,80	0,59	6,828	0,951	0,505	16,2
průměr	240	0,5	248,5	22,91	0,58	6,826	0,956	0,504	16,2
S5c106	240	0,5	248,7	22,80	0,58	6,804	0,956	0,501	16,0
S5c107	240	0,5	248,1	22,90	0,58	6,808	0,949	0,499	16,0
S5c108	240	0,5	246,9	22,90	0,57	6,811	0,951	0,501	16,0
S5c109	240	0,5	248,8	22,80	0,58	6,817	0,954	0,502	16,0
S5c110	240	0,5	249,3	22,80	0,58	6,818	0,949	0,496	16,0
S5c111	240	0,5	250,3	22,80	0,56	6,817	0,959	0,507	16,0
S5c061	240	0,5	249,5	22,90	0,56	6,827	0,959	0,501	16,0
průměr	240	0,5	248,8	22,84	0,57	6,815	0,954	0,501	16,0
S6c001	240	0,5	251,2	22,80	0,57	6,842	0,956	0,507	16,3
S6c002	240	0,5	250,2	22,80	0,56	6,838	0,959	0,505	16,4
S6c003	240	0,5	250,1	22,80	0,57	6,843	0,957	0,509	16,4

S6c004	240	0,5	249,1	22,80	0,58	6,847	0,955	0,510	16,4
S6c005	240	0,5	250,7	22,70	0,59	6,847	0,959	0,510	16,4
S6c006	240	0,5	250,3	22,80	0,57	6,846	0,957	0,503	16,4
S6c007	240	0,5	249,4	22,80	0,57	6,849	0,958	0,511	16,4
průměr	240	0,5	250,1	22,79	0,57	6,845	0,957	0,508	16,4
S8c001	240	0,5	256,1	22,40	0,94	6,841	1,528	0,508	16,3
S8c002	240	0,5	252,9	22,50	0,95	6,848	1,523	0,510	16,3
S8c003	240	0,5	253,1	22,50	0,93	6,851	1,528	0,511	16,3
S8c004	240	0,5	253,3	22,50	0,93	6,857	1,529	0,511	16,4
S8c005	240	0,5	254,0	22,40	0,88	6,853	1,521	0,513	16,4
S8c006	240	0,5	252,2	22,60	0,93	6,855	1,523	0,511	16,4
S8c007	240	0,5	252,3	22,60	0,95	6,859	1,532	0,507	16,4
průměr	240	0,5	253,4	22,50	0,93	6,852	1,526	0,510	16,4
S10c021	240	0,5	250,7	22,60	0,58	6,844	0,952	0,509	16,4
S10c022	240	0,5	251,8	22,50	0,56	6,851	0,961	0,511	16,4
S10c023	240	0,5	251,8	22,50	0,58	6,855	0,964	0,510	16,4
S10c024	240	0,5	250,7	22,60	0,58	6,857	0,964	0,510	16,4
S10c025	240	0,5	251,5	22,60	0,57	6,857	0,962	0,511	16,4
S10c026	240	0,5	252,0	22,60	0,56	6,861	0,965	0,512	16,4
S10c027	240	0,5	251,8	22,60	0,58	6,859	0,961	0,512	16,4
průměr	240	0,5	251,5	22,57	0,57	6,855	0,961	0,511	16,4
S12c001	240	0,5	252,2	22,70	0,55	6,841	0,964	0,515	16,4
S12c002	240	0,5	252,0	22,80	0,57	6,853	0,964	0,506	16,4
S12c003	240	0,5	251,8	22,80	0,59	6,857	0,962	0,502	16,4
S12c004	240	0,5	252,6	22,80	0,57	6,859	0,966	0,509	16,4
S12c005	240	0,5	250,6	22,80	0,57	6,860	0,968	0,505	16,4
S12c006	240	0,5	251,9	22,70	0,59	6,860	0,962	0,508	16,4
S12c007	240	0,5	250,1	22,80	0,57	6,858	0,965	0,512	16,4
průměr	240	0,5	251,6	22,77	0,57	6,855	0,964	0,508	16,4
S16c051	240	0,5	250,7	22,80	0,57	6,854	0,960	0,510	16,5
S16c052	240	0,5	253,6	22,70	0,59	6,854	0,961	0,502	16,5
S16c053	240	0,5	252,3	22,70	0,60	6,859	0,961	0,500	16,5
S16c054	240	0,5	251,6	22,80	0,59	6,859	0,967	0,502	16,5
S16c055	240	0,5	252,7	22,70	0,55	6,864	0,968	0,506	16,5
S16c056	240	0,5	254,5	22,60	0,60	6,865	0,959	0,505	16,5
S16c057	240	0,5	293,8	26,55	0,67	8,001	1,124	0,590	16,5
průměr	240	0,5	258,5	23,26	0,60	7,022	0,986	0,516	16,5

Tab. 3.5: Naměřené hodnoty svařovacích parametrů pro zkratový proces.

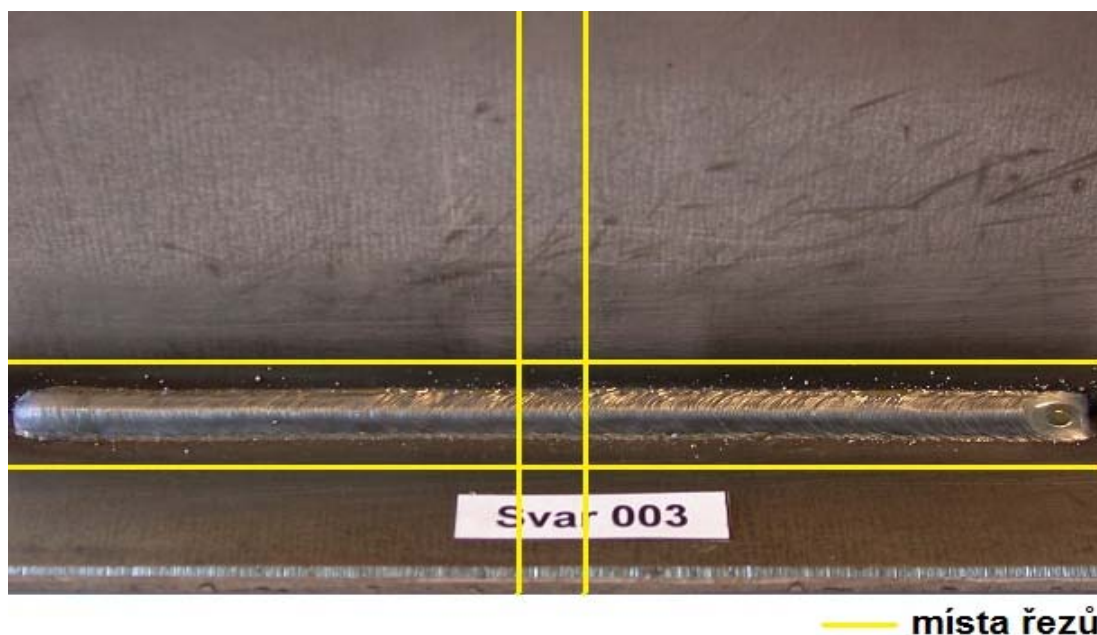
Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S3c008	140	0,2	178,6	18,00	0,70	3,595	1,297	0,196	16,4
S3c009	140	0,2	177,2	17,90	0,68	3,505	1,205	0,200	16,3
S3c010	140	0,2	175,8	18,00	0,68	3,647	1,267	0,201	16,2
S3c011	140	0,2	179,5	17,90	0,68	3,650	1,267	0,202	16,2
S3c012	140	0,2	177,4	17,90	0,69	3,586	1,307	0,201	16,2
S3c013	140	0,2	178,3	17,90	0,68	3,657	1,270	0,201	16,1
S3c014	140	0,2	176,0	18,00	0,69	3,503	1,228	0,203	16,1

S3c015	140	0,2	180,5	17,90	0,67	3,577	1,261	0,206	16,1
průměr	140	0,2	177,9	17,94	0,68	3,590	1,263	0,201	16,2
S4c009	140	0,2	177,9	17,90	0,67	3,612	1,262	0,208	16,1
S4c010	140	0,2	180,1	17,90	0,70	3,664	1,272	0,203	16,2
S4c011	140	0,2	180,2	17,90	0,70	3,671	1,337	0,201	16,3
S4c012	140	0,2	179,7	17,90	0,69	3,678	1,280	0,203	16,2
S4c013	140	0,2	180,5	17,90	0,70	3,682	1,343	0,202	16,3
S4c014	140	0,2	180,8	17,90	0,72	3,676	1,322	0,204	16,2
S4c015	140	0,2	181,5	17,90	0,69	3,687	1,279	0,200	16,2
průměr	140	0,2	180,1	17,90	0,70	3,667	1,299	0,203	16,2
S5c006	140	0,2	183,1	17,70	0,73	3,638	1,326	0,196	15,7
S5c112	140	0,2	174,0	18,00	0,70	2,327	0,740	0,199	16,3
S5c114	140	0,2	180,9	17,90	0,72	3,535	1,244	0,201	16,5
S5c115	140	0,2	180,4	17,90	0,71	3,669	1,332	0,198	16,4
S5c116	140	0,2	178,7	17,90	0,70	3,669	1,335	0,202	16,4
S5c117	140	0,2	181,0	17,90	0,71	3,666	1,338	0,201	16,3
S5c118	140	0,2	179,9	17,90	0,71	3,676	1,336	0,202	16,4
S5c119	140	0,2	179,4	17,90	0,70	3,671	1,278	0,201	16,3
S5c120	140	0,2	182,2	17,80	0,70	3,674	1,340	0,201	16,2
průměr	140	0,2	180,0	17,88	0,71	3,503	1,252	0,200	16,3
S6c008	140	0,2	180,0	17,90	0,69	3,639	1,259	0,200	16,3
S6c009	140	0,2	180,4	17,90	0,70	3,632	1,315	0,199	16,2
S6c010	140	0,2	180,8	17,80	0,69	3,584	1,220	0,204	16,2
S6c011	140	0,2	182,6	17,80	0,71	3,587	1,309	0,198	16,5
S6c012	140	0,2	177,3	17,90	0,67	3,649	1,238	0,205	15,9
S6c013	140	0,2	179,6	17,80	0,70	3,676	1,276	0,203	15,9
S6c014	140	0,2	180,1	17,85	0,69	3,628	1,270	0,202	16,2
průměr	140	0,2	180,1	17,85	0,69	3,628	1,270	0,202	16,2
S8c008	140	0,2	176,5	18,00	1,05	3,685	1,524	0,199	16,0
S8c009	140	0,2	178,6	17,90	1,06	3,696	1,529	0,202	16,0
S8c010	140	0,2	178,2	18,00	1,09	3,698	1,533	0,199	15,9
S8c011	140	0,2	178,2	17,90	1,11	3,700	1,528	0,200	15,9
S8c012	140	0,2	179,7	17,90	1,11	3,701	1,532	0,200	16,1
S8c013	140	0,2	177,0	18,00	1,10	3,704	1,536	0,200	16,1
S8c014	140	0,2	178,1	18,00	1,10	3,710	1,539	0,201	16,1
průměr	140	0,2	178,0	17,96	1,09	3,699	1,532	0,200	16,0
S10c028	140	0,2	177,1	18,00	0,68	3,670	1,247	0,203	16,0
S10c029	140	0,2	178,0	18,00	0,68	3,682	1,278	0,199	16,1
S10c030	140	0,2	177,1	18,00	0,71	3,680	1,342	0,199	16,0
S10c031	140	0,2	177,2	18,00	0,69	3,685	1,283	0,202	16,0
S10c032	140	0,2	172,3	18,10	0,69	3,580	1,305	0,196	16,1
S10c033	140	0,2	175,0	18,00	0,69	3,621	1,317	0,199	16,2
S10c034	140	0,2	176,3	18,00	0,71	3,642	1,322	0,200	16,1
S10c035	140	0,2	177,6	17,90	0,70	3,650	1,329	0,201	16,0
průměr	140	0,2	176,3	18,00	0,69	3,651	1,303	0,200	16,1
S12c008	140	0,2	178,5	17,90	0,68	3,661	1,298	0,198	16,0
S12c009	140	0,2	179,6	17,80	0,71	3,669	1,334	0,203	16,0
S12c010	140	0,2	180,1	17,80	0,70	3,673	1,278	0,203	16,0
S12c011	140	0,2	182,6	17,80	0,70	3,679	1,310	0,205	16,0
S12c012	140	0,2	180,0	17,80	0,72	3,677	1,340	0,196	16,0
S12c013	140	0,2	180,0	17,80	0,72	3,679	1,341	0,196	16,0

S12c014	140	0,2	181,3	17,80	0,73	3,684	1,341	0,200	16,0
S12c015	140	0,2	182,7	17,80	0,71	3,683	1,344	0,201	16,0
průměr	140	0,2	180,6	17,81	0,71	3,676	1,323	0,200	16,0
S16c001	140	0,2	178,3	17,90	0,72	3,666	1,337	0,199	16,1
S16c002	140	0,2	177,8	17,90	0,70	3,680	1,279	0,201	16,2
S16c003	140	0,2	177,6	17,90	0,69	3,680	1,283	0,203	16,1
S16c004	140	0,2	177,2	18,00	0,730	3,690	1,342	0,198	16,1
S16c005	140	0,2	175,8	18,00	0,70	3,695	1,346	0,199	16,1
S16c006	140	0,2	178,4	17,90	0,72	3,694	1,347	0,199	16,0
S16c007	140	0,2	178,1	17,90	0,69	3,698	1,281	0,203	16,0
průměr	140	0,2	177,6	17,93	0,71	3,686	1,316	0,200	16,1

3.2.4 Příprava vzorků pro metalografické zpracování

Po získání experimentálních svarů bylo třeba v důsledku dalšího metalografického zpracování extrahovat ze svařence vzorek vhodný pro získání údajů o geometrii svarové lázně. Vzorky byly odebrány ze středu svarového spoje, tak jak je naznačeno na obrázku 3.8, protože v těchto místech se již jednalo o ustálené teplotní pole a tudíž i průřez svaru byl v těchto místech konstantní. Na řezacím stroji RS 26 byly kyslíko– acetylenovým plamenem provedeny podélné řezy okolo svarové housenky (viz. obr.3.8). Po začištění okrajů následovalo dělení příčným řezem na kotoučové, vodou chlazené, řezací pile Delta AbrasiMet. Zde byl získán vzorek o výšce cca 18 mm, což je dostatečné pro bezproblémové zalití do technického dentacrylu.



Obr. 3.8 Vzorek S6c003 a místa řezů pro odebrání vzorku

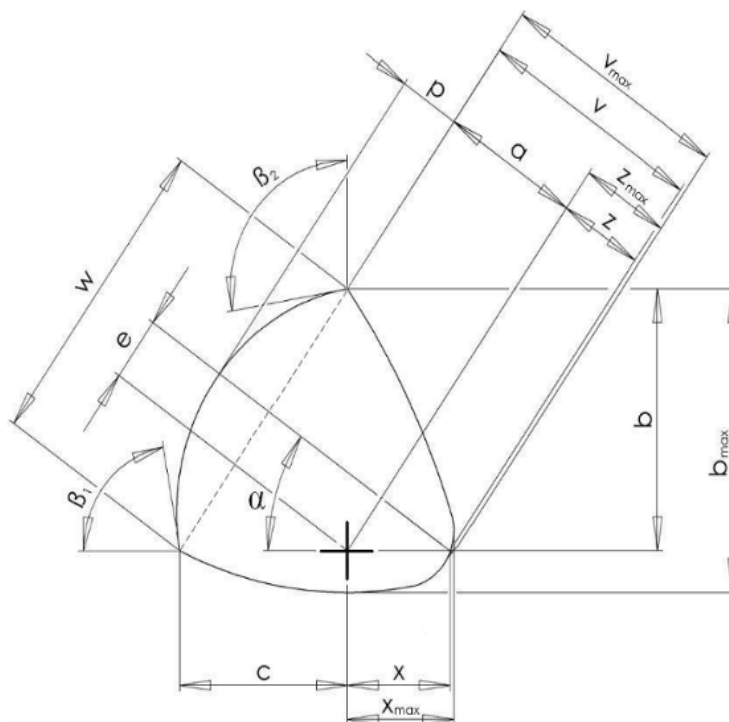
Očištěné vzorky byly vloženy do olejem vymazaných zalévacích formiček a následně zality technickým dentacrylem. Po vytvrzení dentakrylu následovalo vybroušení vzorku na metalografické brusce Buehler Phoenix 4000. Následně na stejném stroji probíhalo i leštění vzorku za pomoci diamantové pasty o zrnitosti $3\mu\text{m}$. Vyleštěné vzorky byly naleptány leptadlem Nital o koncentraci 3%. Při této operaci již nedochází k odběru materiálu, pouze se zlepší viditelnost struktury svaru, hranice svarové lázně a tepelně ovlivněné oblasti. Poslední operací bylo nasnímání naleptaných vzorků při desetinásobném zvětšení na světelném mikroskopu Neophot 21, pomocí připojené digitální kamery NIKON DS-L1.

3.2.5 Geometrické vyhodnocení svařovaných vzorků

Jelikož experimentální část je velice rozsáhlá, bude v následující kapitole popsán postup vyhodnocení pouze pro jeden svar v bezzkratovém přenosu kovu (S6c001). V přílohách č. 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 a 15 jsou uvedeny výsledky vyhodnocení vzorků svařovaných v bezzkratovém režimu přenosu kovu. V přílohách č. 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 a 16 jsou uvedeny výsledky vyhodnocení vzorků svařovaných ve zkratovém režimu přenosu kovu. V každé příloze jsou uvedeny monitorované svařovací parametry pro jeden vybraný vyhodnocovaný vzorek, dále následuje vyhodnocení všech svarů ve skupině podle normy ČSN EN ISO 5817 a rovněž geometrické vyhodnocení rozměrů svarové lázně i s průměrnými hodnotami daných veličin.

V průběhu popisovaného experimentu uskutečněného v rámci této diplomové práce bylo vyhotoveno celkem 118 svarů. Svařovací parametry byly nastaveny dle plánu experimentu (tab. 3.1 a 3.2). Všechny zhotovené vzorky byly geometricky vyhodnoceny v programu NIS – Elements 2.30.

Cílem vyhodnocení v programu NIS-Elements 2.30 bylo zjistit předem zvolené rozměry svarové lázně, tak jak je uvedeno na obrázku 3.9. Mimo těchto geometrických rozměrů byly měřeny plochy svaru (celková plocha svaru P_c , plocha daná přídavným materiálem P_Δ a plocha převýšení P_n). Dále byla měřena délka svarové lázně. Celkem tedy bylo měřeno pro každý svar 21 různých geometrických údajů zvolených tak, aby pro každý svar mohl být vytvořen model zdroje tepla využitelný při simulačních výpočtech a zároveň aby mohly být svary vyhodnoceny a zařazeny do stupňů jakosti podle normy ČSN EN ISO 5817.



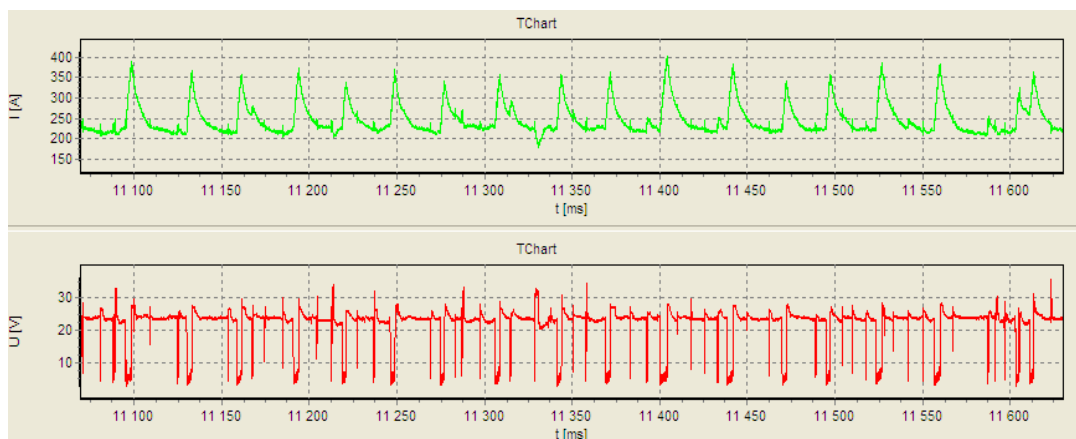
Obr. 3.9 Měřené geometrické rozměry svarové lázně

3.2.5.1 Vyhodnocení vzorku S6c001

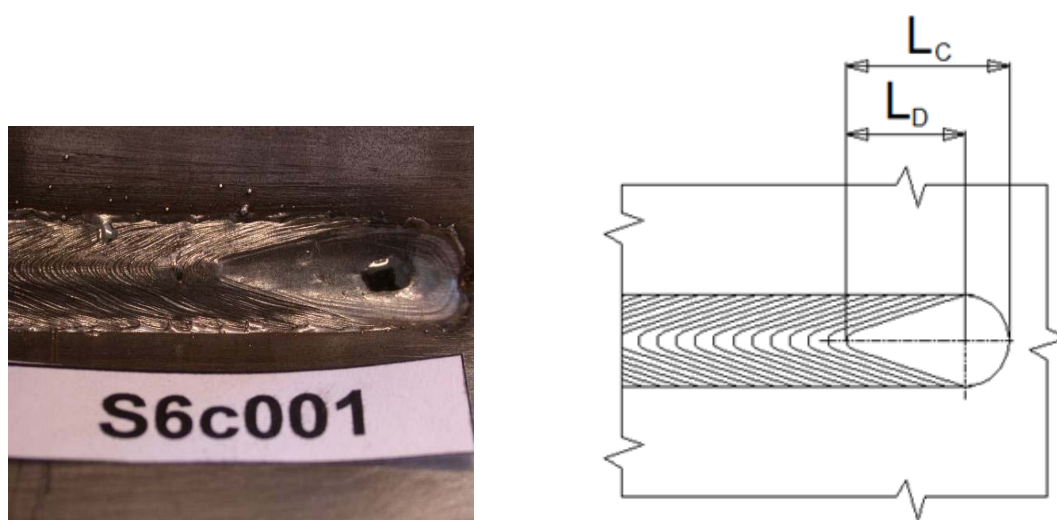
Vzorek S6c001 byl svařován jako první ve skupině vzorků o síle základního materiálu 6 mm v bezzkratovém režimu přenosu kovu. Svařování proběhlo v synergickém režimu a podle plánu experimentu (tab. 3.1), byly na svařovacím zdroji nastaveny svařovacího proudu $I = 240\text{A}$ a svařovací rychlost $0,5\text{ m.min}^{-1}$. Skutečné hodnoty svařovacích parametrů byly obdobně jako u všech ostatních vzorků zaznamenány programem WeldMonitor jak v textové (tab. 3.6), tak grafické (obr. 3.10) podobě. Po svařování byla změřena délka svarové lázně (obr. 3.11 – a,b). Ze vzorku byla extrahována část vhodná k metalografickému zpracování (viz kapitola 3.2.4).

Tab. 3.6: Svařovací parametry – vzorek S6c001

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min^{-1}]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm^{-1}]	Posuv drátu [m.min^{-1}]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min^{-1}]	Průtok plynu [l.min^{-1}]
S6C001	240,0	0,5	251,2	22,80	0,57	6,842	0,956	0,507	16,3



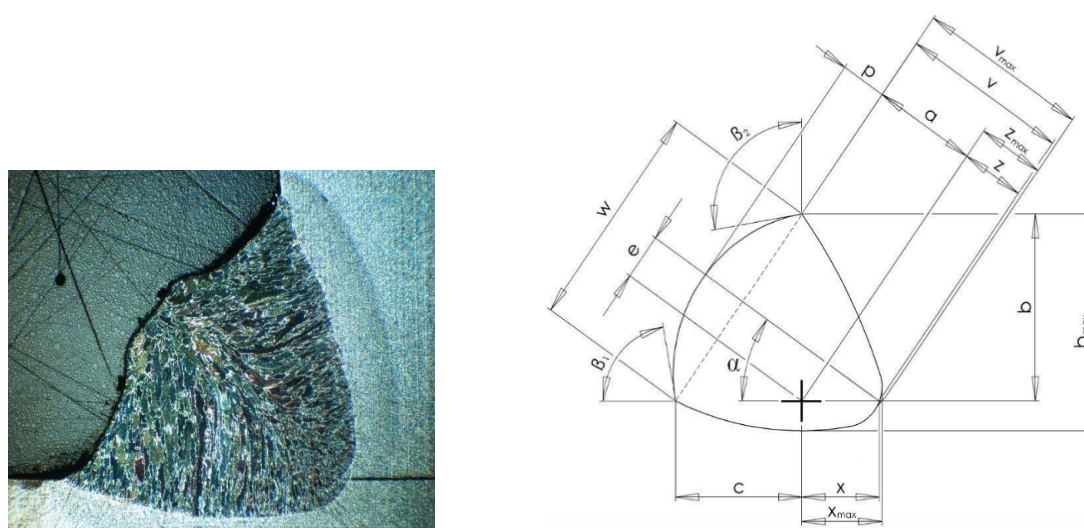
Obr. 3.10: Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S6c001



a) Snímek svarové lázně vzorku S6c001

b) Měřené rozměry svarové lázně

Obr. 3.11: Rozměry svarové lázně – vzorek S6c001



a) Snímek makrostruktury vzorku S6c001

b) Měřené rozměry makrostruktury

Obr. 3.12 Rozměrová analýza – vzorek S6c001

Z obr. 3.12 – a je zřejmé, že u tohoto vzorku došlo k uspokojivému provaření kořene svaru. V programu NIS-Elements 2.30 bylo provedeno měření všech hodnocených rozměrů svarové lázně (obr. 3.12 – b). Veškeré zjištěné rozměry byly zpracovány do tabulky 3.7, kvalita svaru byla vyhodnocena dle normy ČSN EN ISO 5817 (tab. 3.8).

Tab. 3.7: Geometrické rozměry svarové lázně – vzorek S6c001

S6c001						
a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
3,5752	5,4897	6,2417	4,7000	1,0825	0,7742	7,2682
x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
1,5668	1,7245	1,1959	1,1959	4,7682	4,7682	40,6456
β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
124,0403	134,3910	25,9074	12,8936	12,8936	19,26	5,50

Tab. 3.8: Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 – vzorek S6c001

Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

Číslo svaru	Stupeň kvality									
S6c001	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

3.3 Vyhodnocení experimentální části

Cílem experimentální části této diplomové práce bylo zjistit vliv tloušťky materiálu na geometrii svarové lázně při daných svařovacích parametrech. Přestože bylo při rozměrové analýze u každého svařeného vzorku vyhodnoceno celkem 21 geometrických rozměrů, pro potřeby této diplomové práce bylo graficky a statisticky vyhodnoceno celkem osm nejdůležitějších geometrických veličin. Ty byly vybrány tak, aby bylo možné využít získané závěry jak při simulačních výpočtech, tak i při hodnocení excentricity svaru dle normy ČSN EN ISO 5817.

Výsledky rozměrové analýzy byly zpracovány ve formě grafů, přičemž u každého grafu je získanými údaji proložena křivka a získána regresní rovnice popisující vliv tloušťky materiálu na danou geometrickou veličinu. Navíc jsou v grafu zobrazeny aritmetické průměry geometrické veličiny pro jednotlivé tloušťky materiálu, aby bylo možné graficky posoudit odchylky těchto průměrů od získané závislosti.

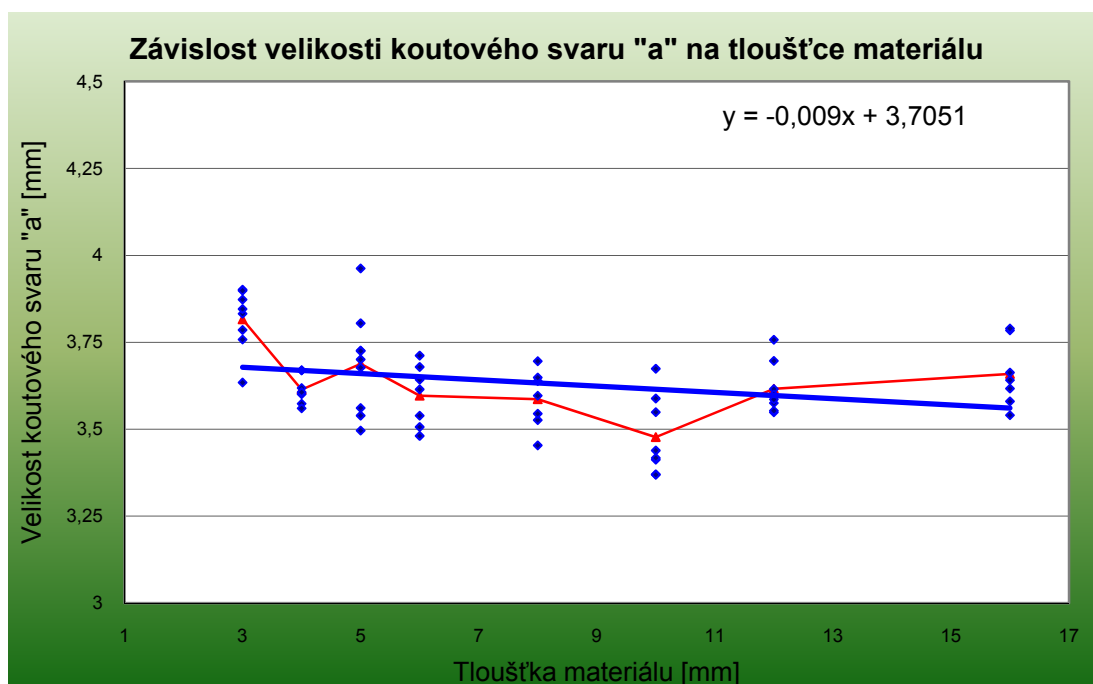
Z geometrických rozměrů byly vyhodnoceny velikost koutového svaru „a“, délka odvěsen koutového svaru „b“ a „c“, vyosení svaru „e“, šířka koutového svaru „w“, maximální průvar „ v_{\max} “, délka svarové lázně L_c a celková plocha svaru P_c . V tabulce 3.9 je pro větší přehlednost uvedeno označení grafů, pro jednotlivé geometrické veličiny a pro způsob přenosu kovu do materiálu.

Tab. 3.9: Označení grafů pro měřené veličiny podle typu přenosu kovu

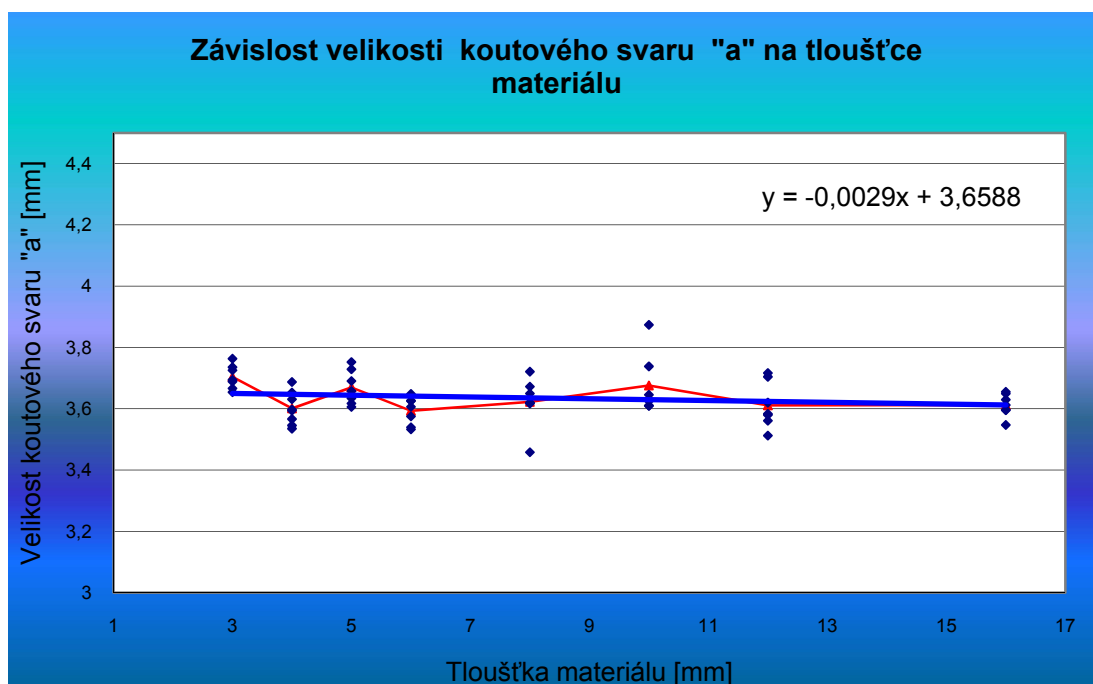
veličina	zkratový režim	bezzkratový režim	
a	3.3.1.	3.3.2.	číslo grafu
b	3.3.3.	3.3.4.	
c	3.3.5.	3.3.6.	
e	3.3.7.	3.3.8.	
w	3.3.9.	3.3.10.	
v_{\max}	3.3.11.	3.3.12. a 3.3.13	
L_c	3.3.14.	3.3.15.	
P_c	3.3.16.	3.3.17.	

Z obrázků 3.3.1 a 3.3.2 je zřejmé, že vliv tloušťky materiálu na velikost koutového svaru „a“ není nijak výrazný. V případě zkratového přenosu kovu je při použití regresní rovnice rozdíl v intervalu tloušťek 3 – 16 mm menší než 0,12 mm a v případě bezzkratového přenosu kovu je to ještě mnohem méně. Maximální odchylka průměrných hodnot jednotlivých tloušťek materiálu je u zkratového režimu 0,34 mm a u bezzkratového režimu pouze 0,11 mm. Proto lze konstatovat, že vliv

tloušťky materiálu na velikost koutového svaru „a“ je zanedbatelný jak ve zkratové, tak i v bezzkratové oblasti přenosu kovu a lze ji považovat v intervalu tlouštěk 3 – 16 mm za konstantní.



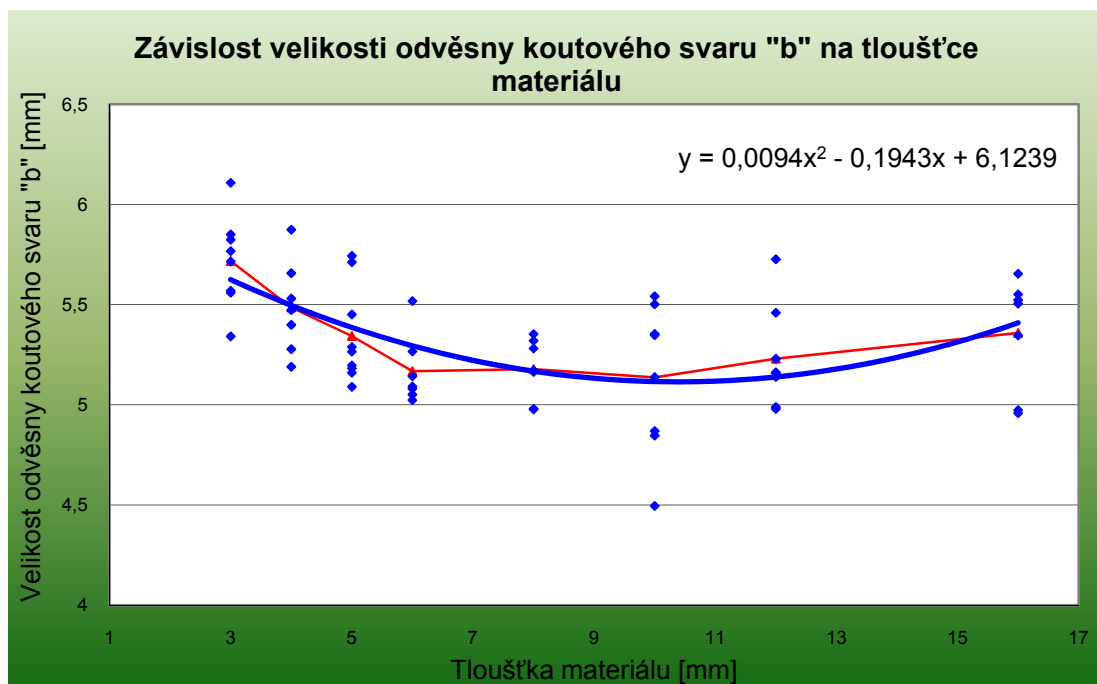
Obr 3.3.1: Vliv tloušťky materiálu na velikost koutového svaru „a“ při zkratovém přenosu kovu



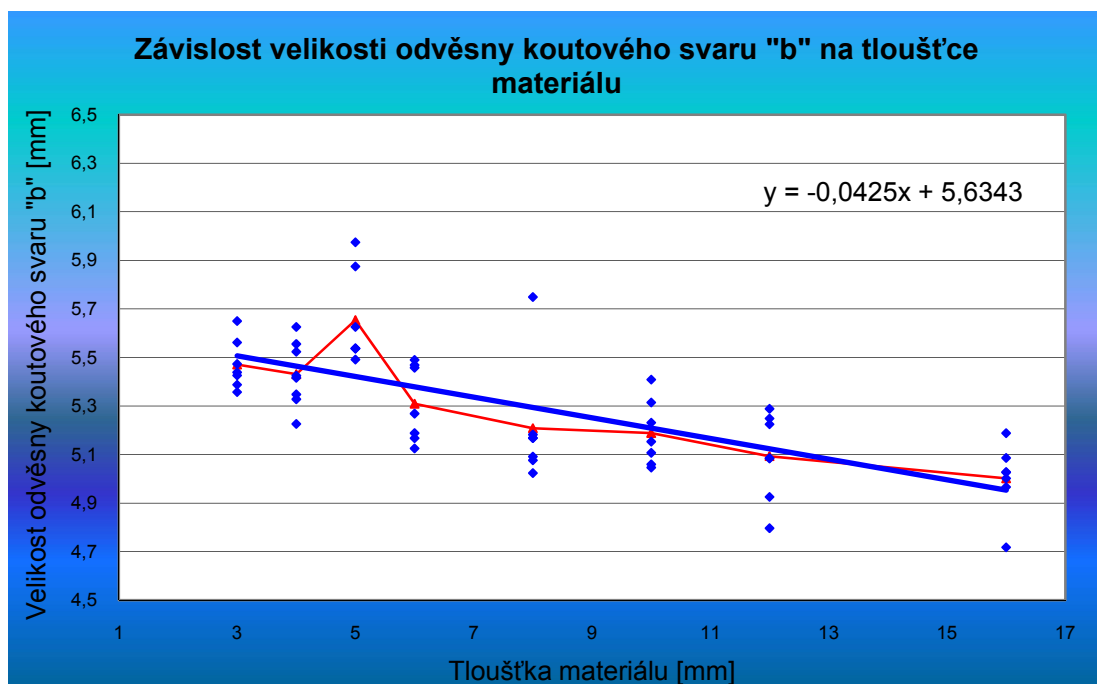
Obr 3.3.2: Vliv tloušťky materiálu na velikost koutového svaru „a“ při bezzkratovém přenosu kovu

Další z hodnocených geometrický parametrů jsou parametry „b“, „c“ a „e“ definující velikost excentricity u koutových svarů. Koutové svary jsou velice náchylné k excentricitě z důvodu nerovnoměrného odvodu tepla do tří směrů. Tato vlastnost

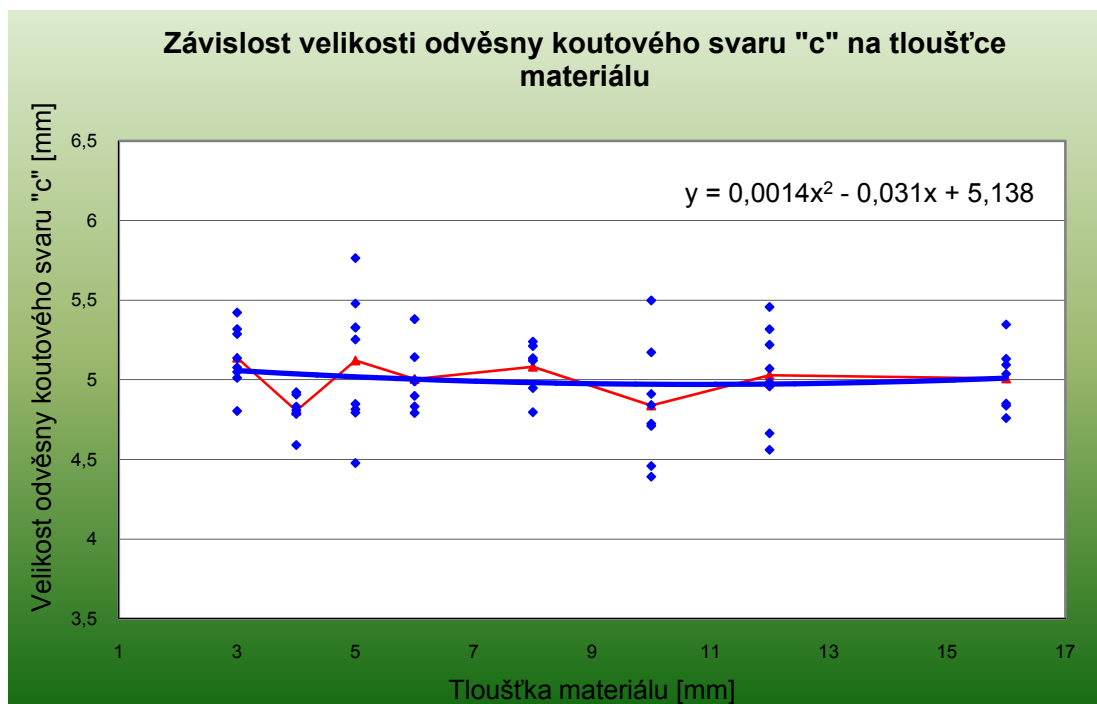
se projevuje zejména u nižších svařovacích proudů, kdy je třeba (z důvodu získání dobrého svaru) vyosít svařovací hořák směrem do pásnice (viz. kapitola 3.2.2). Na obrázcích 3.3.3 a 3.3.4 je vliv tloušťky materiálu na vyosení svaru ve směru stojiny (parametr „b“), na obrázcích 3.3.5 a 3.3.6 je vliv tloušťky materiálu na vyosení svaru ve směru pásnice (parametr „c“) a na obrázcích 3.3.7 a 3.3.8 je vliv tloušťky materiálu na vyosení svaru z ideální osy svaru (parametr „e“) pro zkratovou i bezzkratovou oblast přenosu kovu.



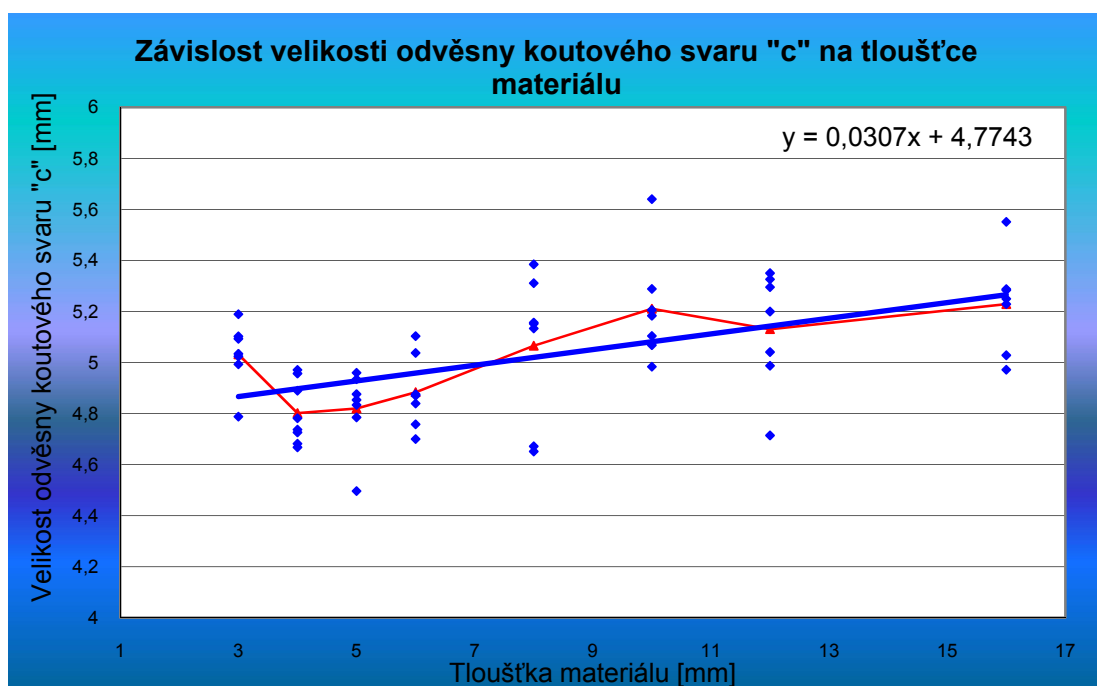
Obr 3.3.3: Vliv tloušťky materiálu na parametr „b“ při zkratovém přenosu kovu



Obr 3.3.4: Vliv tloušťky materiálu na parametr „b“ při bezzkratovém přenosu kovu



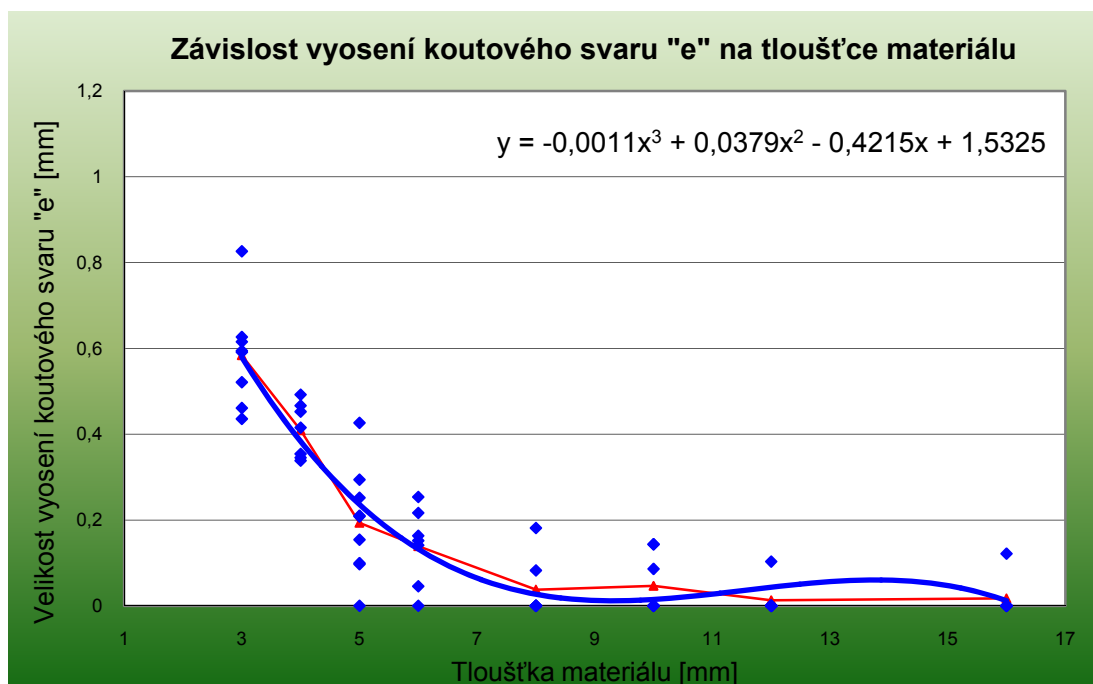
Obr 3.3.5: Vliv tloušťky materiálu na parametr „c“ při zkratovém přenosu kovu



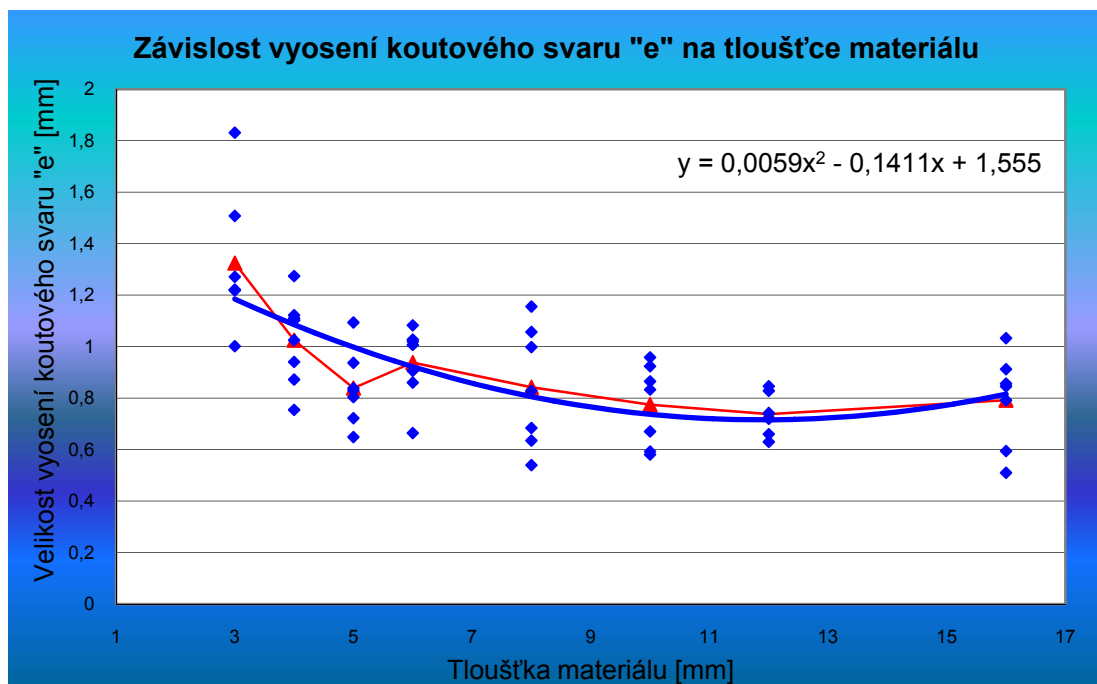
Obr 3.3.6: Vliv tloušťky materiálu na parametr „c“ při bezzkratovém přenosu kovu

Z obrázků 3.3.3 a 3.3.5 je možné usuzovat, že vliv asymetrie se u koutového svaru projeví především u nižších (zkratových) proudů ve směru stojiny, kdy je teplo odváděno pouze v jednom směru. Ve směru pásnice je vliv tloušťky materiálu téměř nulový. U bezzkratového přenosu kovu je vidět, že získané závislosti parametrů „b“ a „c“ na tloušťce materiálu mají přímkový průběh a jejich sklon je vzájemně opačný.

To znamená, že se navzájem vyrušují. Také excentricita svaru (obr. 3.3.8.) se v tomto případě pohybuje v rozmezí od 0,7 do 1,2 mm. Ani asymetrie, ani excentricita těchto svarů však není tak závažná, aby muselo dojít k přeřazení svaru do skupiny s nižšími požadavky na jakost svaru dle normy ČSN EN ISO 5817. Navíc je možné excentricitu a částečně i asymetrii svaru technologicky vykompenzovat vyosením svařovacího hořáku o 0,1 – 0,2 mm ve směru pásnice. Při zkratovém přenosu kovu již ke kompenzaci došlo, když byl svařovací hořák vyosen o 0,9 mm ve směru pásnice. To se projevilo (obr. 3.3.7) především u tloušťek větších než 6 mm, kdy je excentricita svaru téměř nulová.

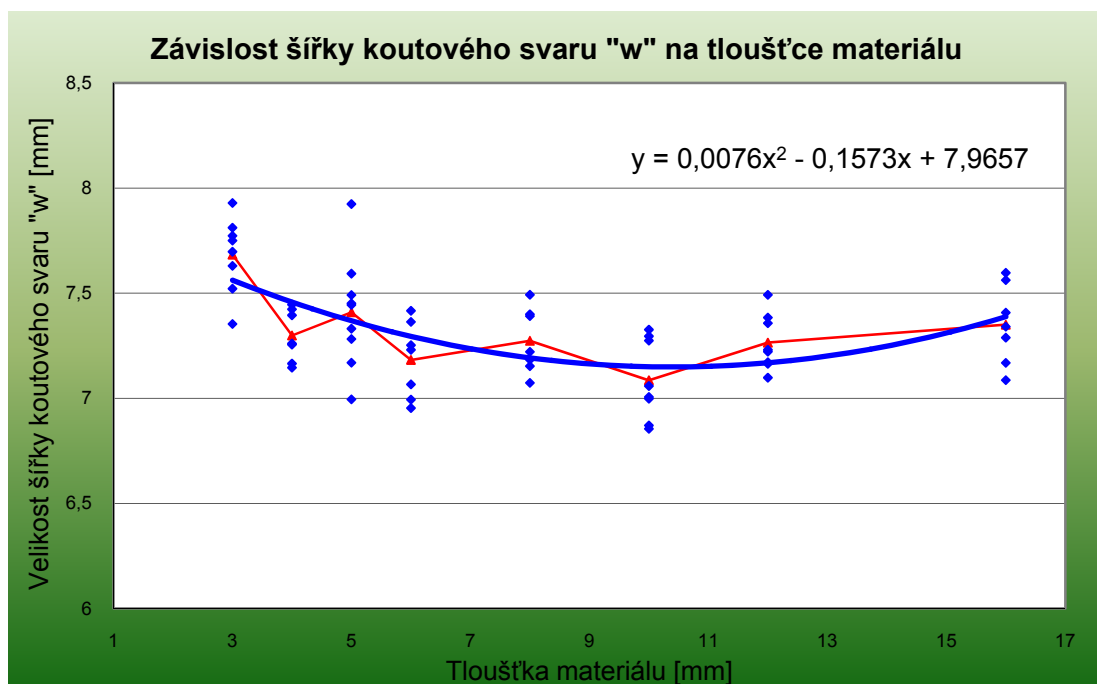


Obr 3.3.7: Vliv tloušťky materiálu na parametr „e“ při zkratovém přenosu kovu

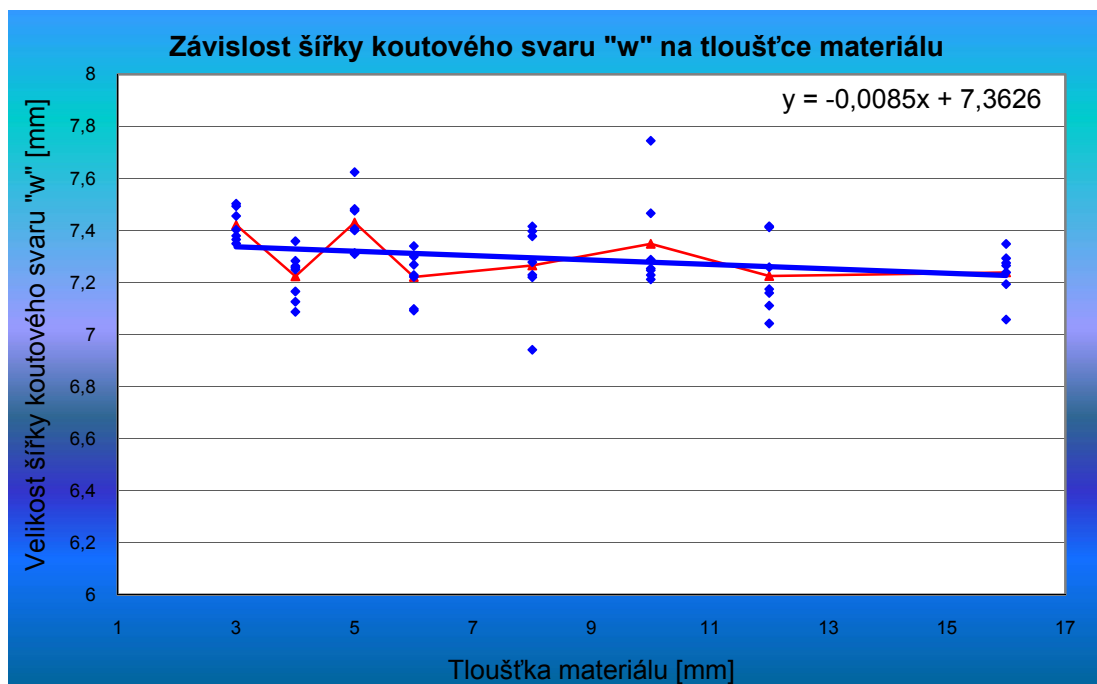


Obr 3.3.8: Vliv tloušťky materiálu na parametr „e“ při bezzkratovém přenosu kovu

Na obrázcích 3.3.9 a 3.3.10 jsou zobrazeny získané závislosti šířky koutového svaru „w“ na tloušťce materiálu. Ani u této geometrické veličiny se však vliv tloušťky materiálu výrazněji neprojevil. V případě zkratového přenosu kovu je zřejmá klesající velikost šířky koutového svaru přibližně do tloušťky 6 mm, poté je již průběh ustálený. U bezzkratového přenosu kovu je klesající trend téměř zanedbatelný. Na intervalu 3 – 16 mm je to méně než 0,2 mm.

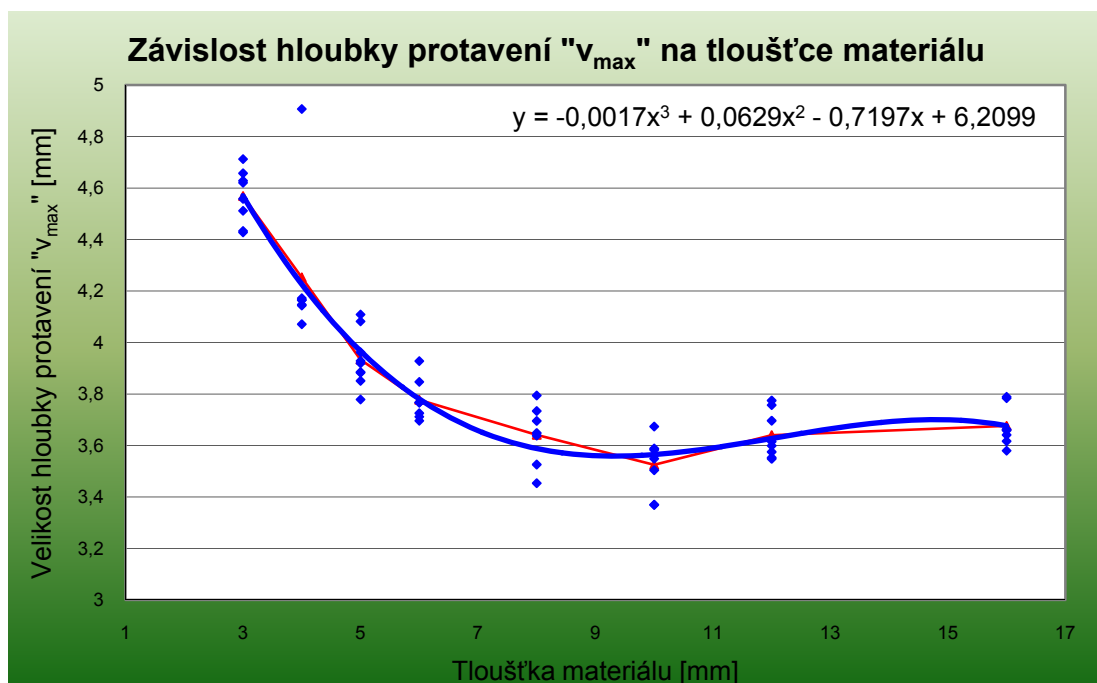


Obr 3.3.9: Vliv tloušťky materiálu na parametr „w“ při zkratovém přenosu kovu

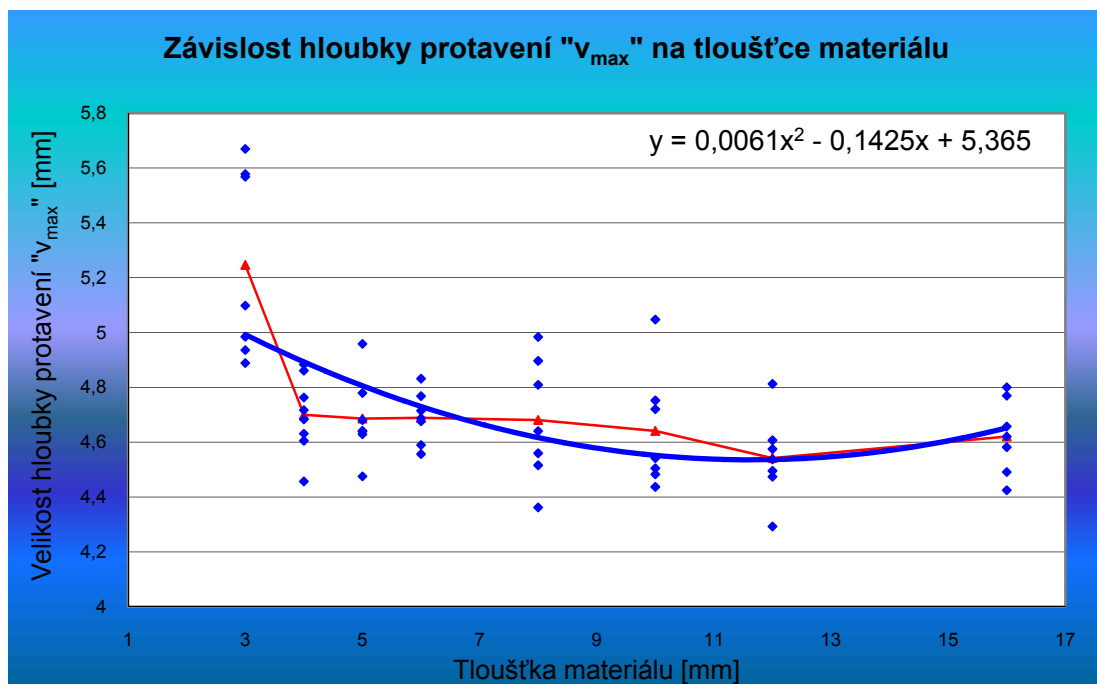


Obr 3.3.10: Vliv tloušťky materiálu na parametr „w“ při bezzkratovém přenosu kovu

V případě maximálního protavení „ v_{\max} “ se již vliv tloušťky materiálu projeví velice výrazně. Jak je vidět na obrázku 3.3.11, velikost protavení se s přibývajícím tloušťkou materiálu výrazně snižuje a to až do tloušťky 8 mm. V intervalu 3 – 8 mm se hloubka protavení sníží o téměř 20%.

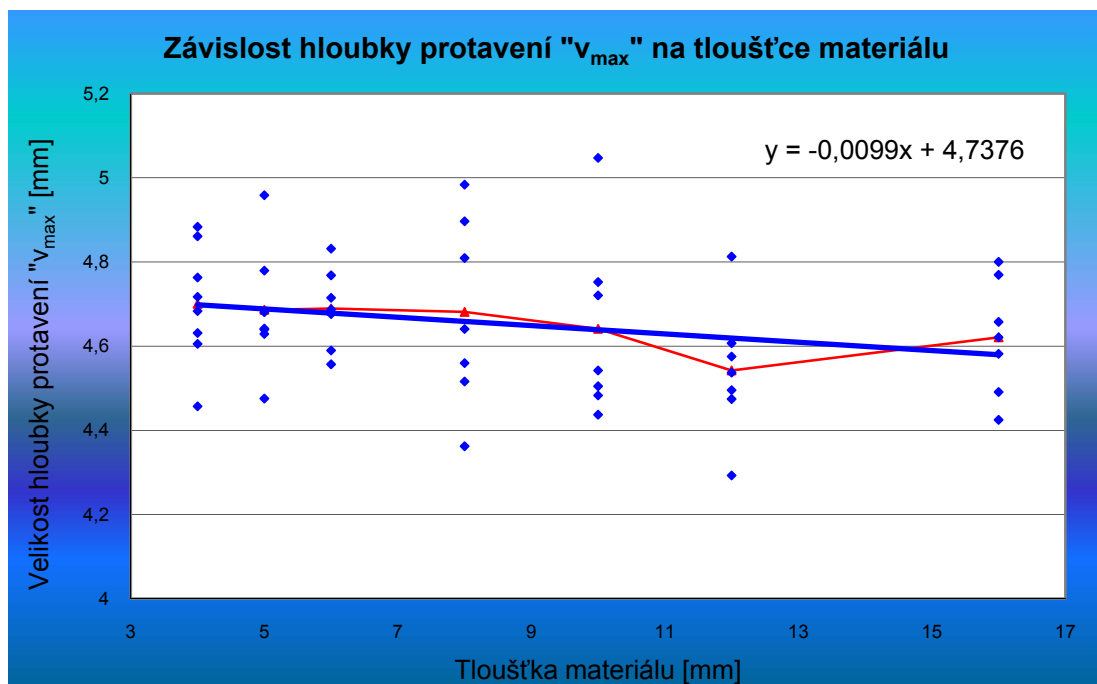


Obr 3.3.11: Vliv tloušťky materiálu na parametr „ v_{\max} “ při zkratovém přenosu kovu

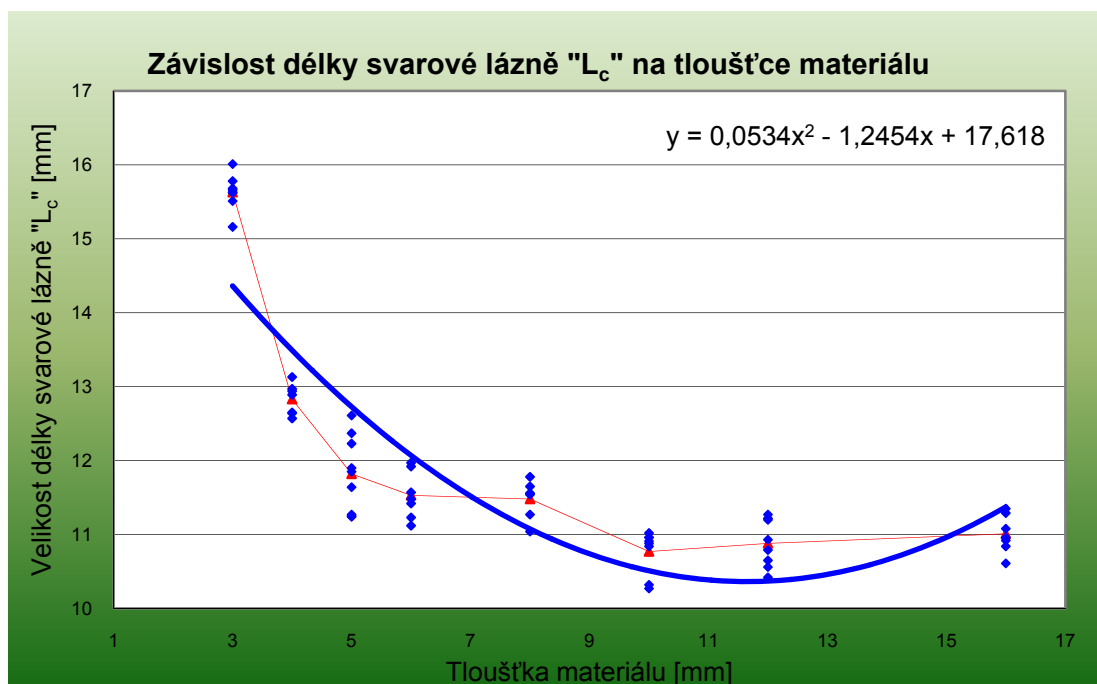


Obr 3.3.12: Vliv tloušťky materiálu na parametr „v_{max}“ při bezzkratovém přenosu kovu

U bezzkratové oblasti se již vliv tloušťky téměř neprojevil. Pomineme-li (obr. 3.3.12) vyhodnocení na tloušťce 3 mm, která je u zvolených svařovacích parametrů již na hranici protavení (u několika vzorků k protavení skutečně došlo), získáme mírně klesající přímkovou závislost, tak jak je ukázáno na obrázku 3.3.13. V tomto případě je však snížení protavení téměř nulové. Na intervalu 4 – 16 mm to dělá pouhých 0,13 mm.

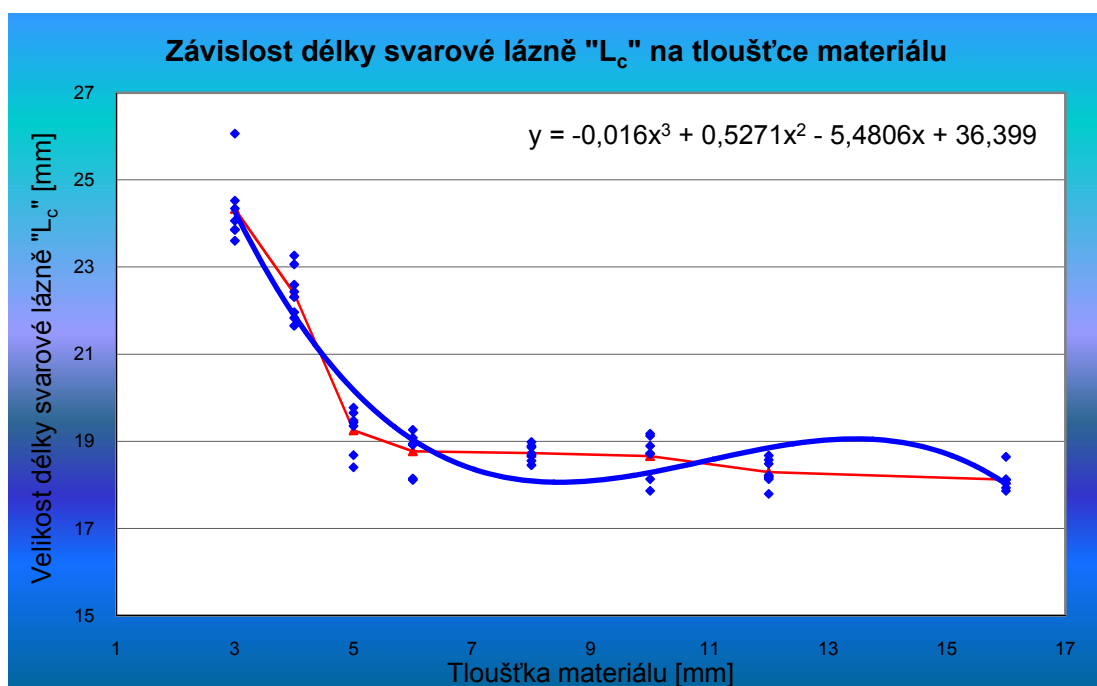


Obr 3.3.13: Vliv tloušťky materiálu na parametr „v_{max}“ při bezzkratovém přenosu kovu u intervalu tlouštěk 4 – 16 mm



Obr 3.3.14: Vliv tloušťky materiálu na parametr „L_c“ při zkratovém přenosu kovu

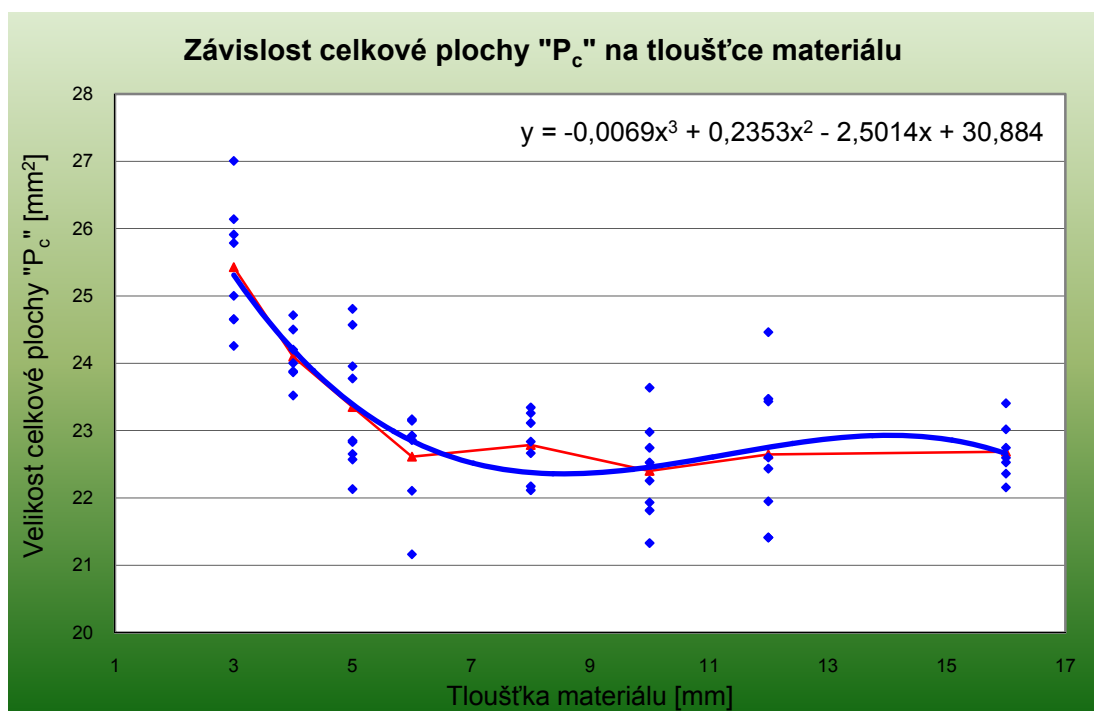
Dalším geometrickým parametrem, u něhož se vliv tloušťky materiálu výrazněji projevil je délka svarové lázně „L_c“. Jak je vidět na obrázku 3.3.14, v případě zkratového přenosu kovu dochází k velmi výraznému snížení délky svarové lázně v rozmezí tloušťek 3 – 6 mm. K dalšímu, tentokrát již pozvolnému zkrácení svarové lázně došlo v intervalu tloušťek 6 – 10 mm a od této hodnoty je již možné konstatovat, že tloušťka materiálu nemá vliv na délku svarové lázně.



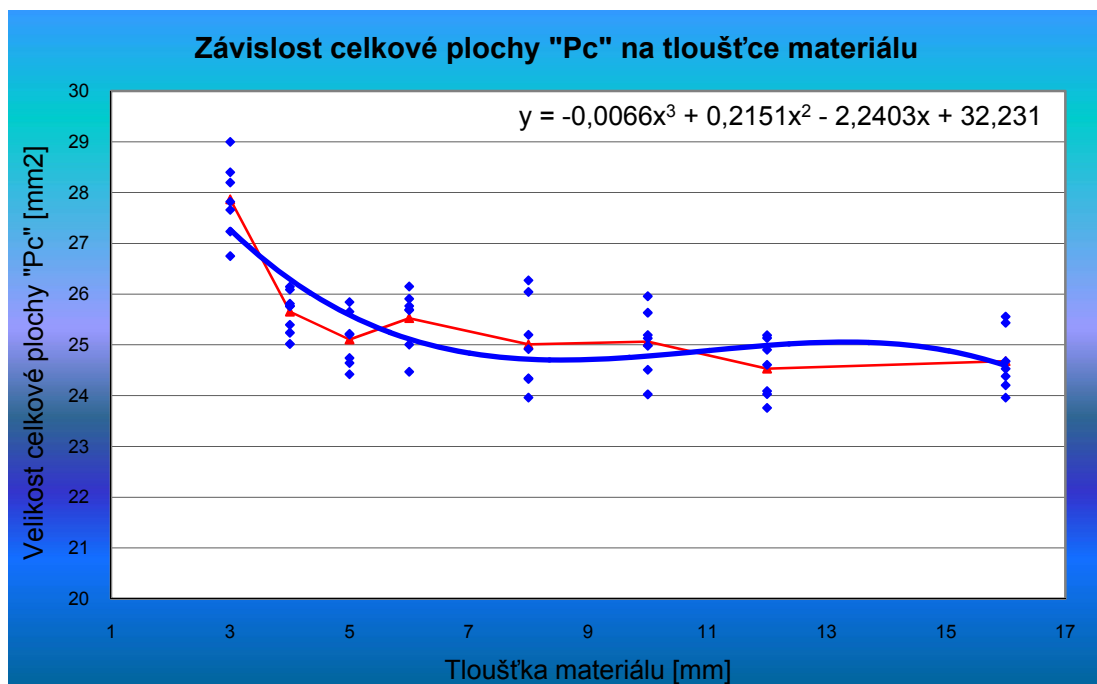
Obr 3.3.15: Vliv tloušťky materiálu na parametr „L_c“ při bezzkratovém přenosu kovu

I u bezzkratového přenosu kovu se vliv tloušťky materiálu na délku svarové lázně „ L_c “ (obr. 3.3.15) projevil výrazným snížením délky svarové lázně v rozmezí tloušťek 3 – 6 mm. V intervalu 6 – 16 mm pak dochází k mírnému snížení délky svarové. Maximální rozdíl na tomto intervalu je 0,6 mm, což je z hlediska délky svarové lázně zanedbatelné a odchylka je menší než 3,5%.

Posledním hodnoceným geometrickým parametrem byla celková velikost plochy svaru „ P_c “. Jak je zřejmé z obrázků 3.3.16 a 3.3.17, i u tohoto geometrického parametru se vliv tloušťky materiálu projeví velice výrazně, zejména u menších tloušťek materiálu. V případě zkratového přenosu kovu (obr. 3.3.16) dochází k výraznějšímu snižování celkové plochy svaru na intervalu tloušťek 3 – 6 mm a u bezzkratového přenosu kovu v intervalu 3 – 5 mm. Od těchto tloušťek je již možné celkovou plochu považovat za konstantní a tudíž se na ní vliv rozdílných odvodů tepla způsobených změnou tloušťky materiálu neprojeví.



Obr 3.3.16: Vliv tloušťky materiálu na parametr „ P_c “ při zkratovém přenosu kovu



Obr 3.3.17: Vliv tloušťky materiálu na parametr „P_c“ při bezzkratovém přenosu kovu

4 Závěr

Geometrie svarové lázně je závislá na všech parametrech vstupujících do systému vytvoření svaru. Jak již bylo řečeno, svařovacích parametrů majících vliv na geometrii svarové lázně je velké množství, jsou mezi sebou provázány a ovlivňují se navzájem. Pomineme-li hlavní svařovací parametry (proud, napětí, rychlost svařování, rychlost podávání drátu atd.) mající největší vliv na výslednou geometrii svarové lázně, stále ještě zbývá mnoho dalších veličin ovlivňujících výsledek.

Jedním z nich je i vliv tloušťky materiálu na výslednou geometrii svarové lázně. Znalost vlivu této veličiny je velice důležitá jak pro dodržení systému jakosti při svařování, tak i pro potřeby simulačních výpočtů svařování. Cílem této diplomové práce proto bylo zjistit vliv odvodu rozdílného množství tepla od svaru, způsobeného různou tloušťkou základního materiálu, na geometrii svarové lázně při svařování metodou MAG.

Práce byla zpracována pro koutové svary z oceli S255J2G3 svařované v poloze PA. Pro experimenty byl použit ochranný směsný plyn Ar/CO₂ 82/18 a přídatný drát OK Autrod 12.51 o průměru 1,2 mm. Svařování proběhlo jak ve zkratové, tak i v bezzkratové oblasti přenosu kovu. Experimentální činnost byla zaměřena na tloušťky 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12 a 16 mm. Pro každou tloušťku materiálu a pro každý svařovací režim bylo provedeno minimálně sedm kompletně monitorovaných svarů. Celkem tak bylo pro potřeby diplomové práce svařeno, změřeno a komplexně vyhodnoceno celkem 118 svarů.

Popis a grafické vyhodnocení těchto svarů je uvedeno v kapitole 3.3. Na základě získaných výsledků je možné konstatovat, že hodnotit vliv tloušťky materiálu na geometrii svarové lázně jako celku, je velice obtížné. Na některých geometrických parametrech se vliv tloušťky materiálu téměř neprojeví a naopak jiné jsou vysoce náchylné na vliv tloušťky materiálu. Vezměme například velikost koutového svaru (parametr „a“). Tento údaj je hojně využíván při výpočtech svarových spojů při navrhování ocelových konstrukcí, uváděn na výrobních výkresech i technologických postupech, nebo je brán jako kontrolní údaj při kontrole reálných svarů. Vliv tloušťky materiálu na parametr „a“ je však téměř zanedbatelný a to jak ve zkratové, tak i v bezzkratové oblasti přenosu kovu.

Při zkoumání asymetrie svarové lázně se vliv tloušťky materiálu projevil především u zkratového přenosu kovu v rozmezí tloušťek 3 – 8 mm. Excentricitu a

asymetrii svarové lázně je však možné částečně eliminovat vyosením svařovacího hořáku ve směru pásnice. Velikost vyosení je pak závislá na velikosti svařovacího proudu. V případě vyšších svařovacích proudů (bezzkratový režim) se excentricita zmenšuje i u menších tloušťek materiálů a od hodnoty 8 mm je možné konstatovat, že tloušťka materiálu již nemá na excentricitu vliv.

Dalšími geometrickými parametry jsou šířka svarové lázně „ w “, délka svarové lázně „ L_c “ a maximální hloubka protavení „ v_{max} “. Tyto parametry jsou využitelné především pro potřeby simulačních výpočtů, při tvorbě modelu zdroje tepla. Maximální protavení je též možné využít, za podmínky dodržení určitých předpokladů, při výpočtech svarových spojů. Zatímco šířka svarové lázně „ w “ je na tloušťce materiálu závislá velice málo (pouze u zkratu a pouze v rozmezí 3 – 6 mm), u délky svarové lázně „ L_c “ a maximální hloubky protavení „ v_{max} “ je vliv tloušťky již značný.

Délka svarové lázně je parametrem, u kterého se vliv tloušťky materiálu projevil nejvíce. Z obrázků 3.3.14 a 3.3.15 je zřejmé, že v rozmezí tloušťek 3 – 6 mm dochází v obou oblastech přenosu kovu k výraznému snížení délky svarové lázně. U zkratového režimu se ještě navíc projevilo malé snížení délky svarové lázně v intervalu 6 – 16 mm. V případě parametru „ v_{max} “ se výrazné snížení hloubky protavení projevilo pouze při zkratovém přenosu kovu.

Na základě získaných závislostí lze obecně konstatovat, že se vliv tloušťky materiálu na geometrii svarové lázně projevuje do tloušťky 8 mm. Od této hodnoty, je pro potřeby simulačních výpočtů a pro výrobní potřeby, možné považovat vliv tloušťky materiálu na geometrii svarové lázně za nulový. Toto tvrzení je platné pro danou kombinaci materiál – přídatný drát – ochranný plyn a pro výkon zdroje větší než 3100 W, což odpovídá výkonu zdroje při experimentech ve zkratovém režimu. S vyšším výkonem zdroje vliv tloušťky materiálu na geometrii svarové lázně klesá.

**Tato práce vznikla za podpory grantového projektu GAČR 101/09/P176
a projektu studentské grantové soutěže SGS 2822.**

5 Seznam použité literatury

- [1] http://www.czweld.cz/index_clanky.htm
- [2] KUNCIPÁL, J., PILOUS, V., DUNOVSKÝ, J.: Nové technologie ve svařování. 1. vyd., SNTL Praha, 1984
- [3] KUBÍČEK, J.: Technologie svařování a zařízení. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0. Kapitola 5: Elektrický oblouk
- [4] PROCHÁZKA, J., ZAPOTIL, M., NĚMEC, M., NOVOTNÝ, J.: Technologie slévání, tváření a svařování. 3. vyd., Vydavatelství ČVUT Praha 1990
- [5] MALINA, Z.: základní kurz svařování MIG/MAG. Zeross Ostrava, 2006. SBN 80- 85771-19-5
- [6] http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_vyroby_I_svarovani_kubicek.pdf
- [7] MEŠKO, J.; MIČIAN, M.: Metódy hodnotenia stability horenia elektrického oblaka pri zvaraní v ochranných atmosférach [online]. Ocelové konstrukce, Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/metody-hodnotenia-stability-horeniaelektrickeho-obluka-pri-zvarani-v-ochrannych-atmosferach>, Poslední revize 17. 12. 2008.
- [8] http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17054
- [9] KUBÍČEK, J.: Technologie svařování a zařízení. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0. Kapitola 9: Svařování metodou MIG/MAG
- [10] KORANDA, T.: Geometrie koutového svaru u MAG svařování v oblasti zkratového přenosu kovu, [Diplomová práce]. FS-TU v Liberci 2001

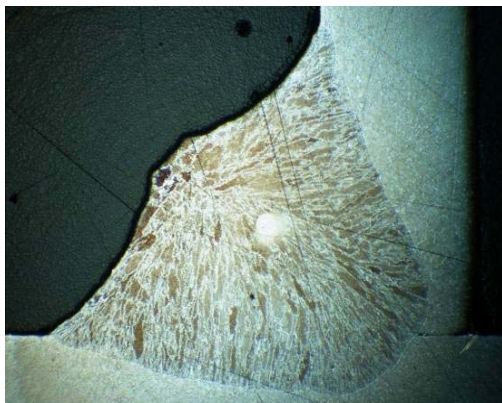
- [11] ORSZÁGH, V.; ORSZÁGH, P.: Zváracie metódy a zariadenia. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2000. 616 s. ISBN 80-85771-84-5. Kapitola 9: Zváranie elektrickým oblúkom taviacou sa elektrodou v ochranných plynch (Zvaranie MIG/MAG)
- [12] HAVELKA, P.: Predikce tvaru a velikosti svarové lázně u metody svařování 135 (MAG), [Diplomová práce], TU – FS v Liberci, 2010
- [13] MORAVEC, J.: Analýza kritických míst svařovacího procesu na základě simulací v programu SYSWELD. Disertační práce. Liberec 2008. ISBN 978-80-7372-315-6.
- [14] <http://www.svarbazar.cz/view.php?>, číslo článku=2006020403
- [15] www.cws-anb.cz - stránky české svářečské společnosti
- [16] HLAVATÝ, I.: Systém pro monitorování a dokumentaci procesu svařování pomocí výpočetní techniky WeldMonitor [online].
Dostupné z: http://homen.vsb.cz/~hla80/Vyuka/WeldMonitor_final.pdf ,
Poslední revize 5. 4. 2008.
- [17] Magnello, E.; Borin Van Loon; Statistika, 1. vyd. Portál 2010, přeložil Foltýn, J., 192 s.
- [18] http://portal.zcu.cz/dokumenty?static_text_images/sta_gaussovakrivka.jpg
- [19] <http://iastar.vse.cz/Normalni.htm>
- [20] ESAB VAMBERK. Výběr nepoužívanějších druhů svařovacích materiálů
Dostupné z:
http://products.esab.com/ESABImages/ESABvyber2009_cz_web.pdf.
Poslední revize 30. 3. 2009.
- [21] AIR PRODUCTS. Prohlášení výrobce o složení plynu Euromix® M21
Dostupné z:
http://www.airproducts.cz/prohlasenivyrobce/pdf/Plyny/PROHLASENI_VYRO BCE_Euromix_M21.pdf, Poslední revize 30. 10. 2009.

6 Seznam příloh

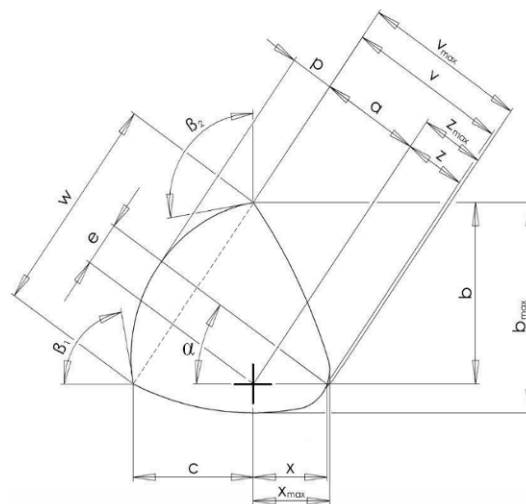
Číslo přílohy	Název	Číslo stránky
1.	Vyhodnocení vzorku S3c003	78
2.	Vyhodnocení vzorku S3c013	81
3.	Vyhodnocení vzorku S4c005	84
4.	Vyhodnocení vzorku S4c014	87
5.	Vyhodnocení vzorku S5c110	90
6.	Vyhodnocení vzorku S5c006	93
7.	Vyhodnocení vzorku S6c003	96
8.	Vyhodnocení vzorku S6c011	99
9.	Vyhodnocení vzorku S8c004	102
10.	Vyhodnocení vzorku S8c010	105
11.	Vyhodnocení vzorku S10c021	108
12.	Vyhodnocení vzorku S10c028	111
13.	Vyhodnocení vzorku S12c006	114
14.	Vyhodnocení vzorku S12c013	117
15.	Vyhodnocení vzorku S16c055	120
16.	Vyhodnocení vzorku S16c001	123

Příloha č.1

Vyhodnocení vzorku S3c003



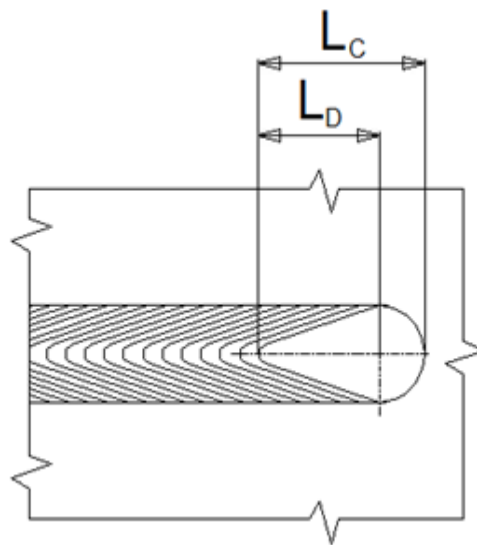
a) Snímek makrostruktury vzorku S3c003



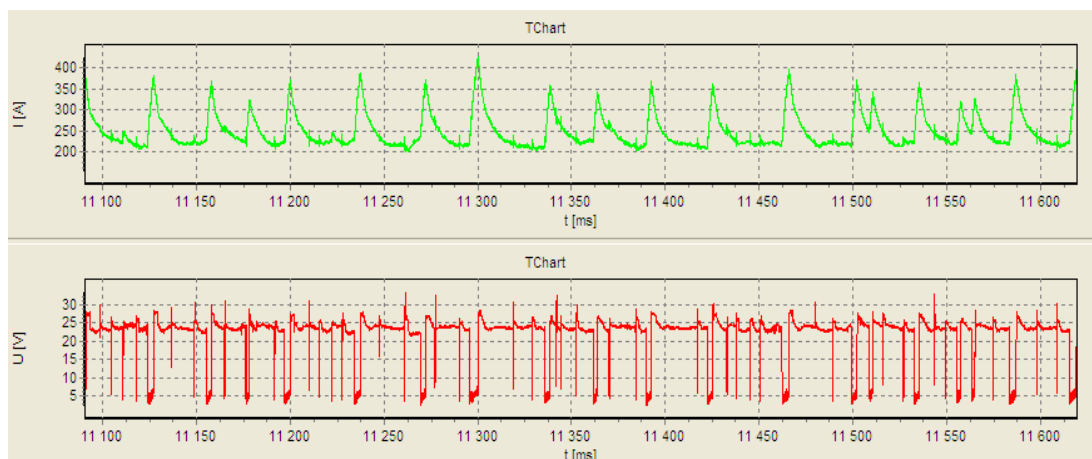
b) Měřené rozměry makrostruktury



c) Snímek svarové lázně vzorku S3c003



d) Měřené rozměry svarové lázně



Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S3c003

Svařovací parametry – vzorek S3c003

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S3c003	240	0,5	250,9	22,8	0,56	6,817	0,953	0,510	16,4

Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 pro S3 v bezkratovém režimu

Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

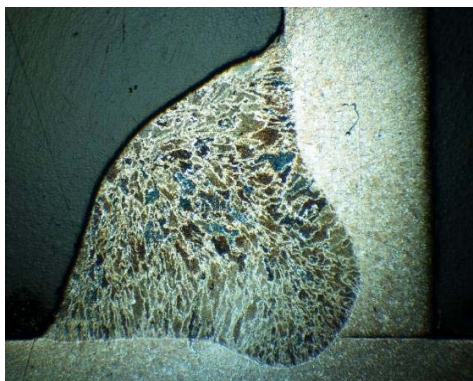
Číslo svaru	Stupeň kvality										
S3c001	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S3c002	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S3c003	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S3c004	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S3c005	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S3c006	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S3c007	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

Geometrické rozměry svarové lázně vzorků S3 při bezzkratovém režimu

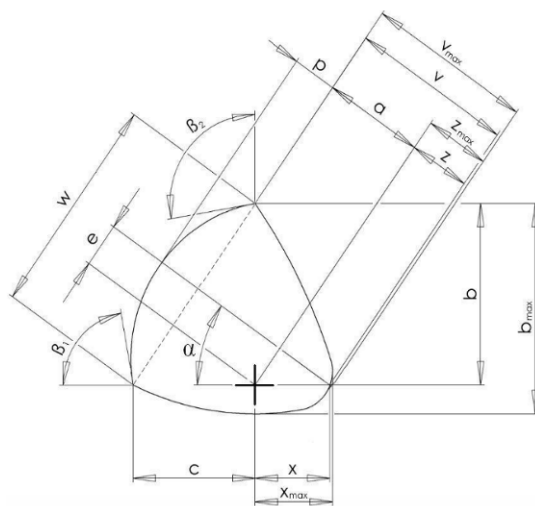
	a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
S3c001	3,7358	5,4729	6,6660	5,1026	1,2183	0,6753	7,4557
S3c002	3,7257	5,5615	6,4485	5,0241	1,2709	0,5336	7,4934
S3c003	3,6945	5,3571	6,4812	5,0931	1,5076	0,6626	7,3793
S3c004	3,6543	5,6498	6,4004	4,7877	1,0013	0,6207	7,4028
S3c005	3,6665	5,3877	6,3509	4,9931	1,2210	0,7434	7,3494
S3c006	3,7635	5,4385	6,2398	5,1894	1,8308	0,4696	7,5028
S3c007	3,6886	5,4258	6,1249	5,0341	1,2198	0,7509	7,3652
μ	3,7041	5,4705	6,3874	5,0320	1,3242	0,6366	7,4212
s	0,0363	0,0950	0,1614	0,1163	0,2479	0,0967	0,0579
v _x	0,9801	1,7366	2,5268	2,3121	18,7194	15,1833	0,7799
	x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
S3c001	1,7082	2,0001	1,2453	1,2453	4,9847	4,9847	43,0744
S3c002	1,6354	2,2683	1,2063	1,2063	4,9359	4,9359	40,3307
S3c003	1,8471	2,0735	1,3335	1,4042	5,0267	5,0982	44,4687
S3c004	1,6922	3,1344	2,0173	2,0173	5,6695	5,6695	40,0465
S3c005	1,6699	1,9883	1,2270	1,2270	4,8887	4,8887	44,6190
S3c006	1,7057	3,0000	1,8035	1,8035	5,5680	5,5680	44,4050
S3c007	1,6176	3,0000	1,1288	1,8856	4,8181	5,5780	41,9890
s	0,0693	2,4949	1,4231	1,5413	5,1274	5,2461	42,7048
μ	1,6966	0,4854	0,3184	0,3232	0,3180	0,3179	1,8134
v _x	4,0828	19,4572	22,3712	20,9703	6,2018	6,0588	4,2463
	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
S3c001	129,3258	133,5364	27,2333	13,9573	1,7936	24,34	5,57
S3c002	128,7549	132,7259	27,8193	14,0822	1,6281	23,85	5,60
S3c003	131,2303	132,5032	27,6591	13,6867	1,9393	23,60	4,24
S3c004	125,5258	138,2450	28,1984	13,4972	1,5524	24,06	5,10
S3c005	130,2969	134,7820	26,7492	13,5483	2,2086	23,86	4,10
S3c006	131,4625	132,6702	28,3994	14,2373	1,3947	26,06	5,76
S3c007	127,1185	133,0220	28,9987	13,7113	2,3325	24,52	5,21
μ	129,1021	133,9264	27,8653	13,8172	1,8356	24,33	5,08
s	2,0151	1,9048	0,6939	0,2589	0,3199	0,76	0,62
v _x	1,5608	1,4223	2,4902	1,8739	17,4258	3,14	12,12

Příloha č.2

Vyhodnocení vzorku S3c013



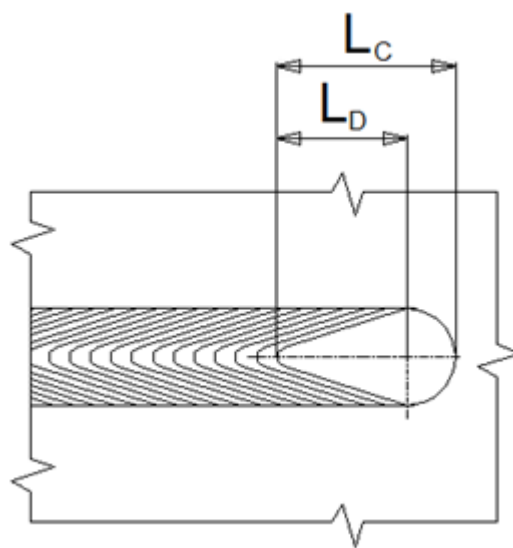
a) Snímek makrostruktury vzorku S3c013



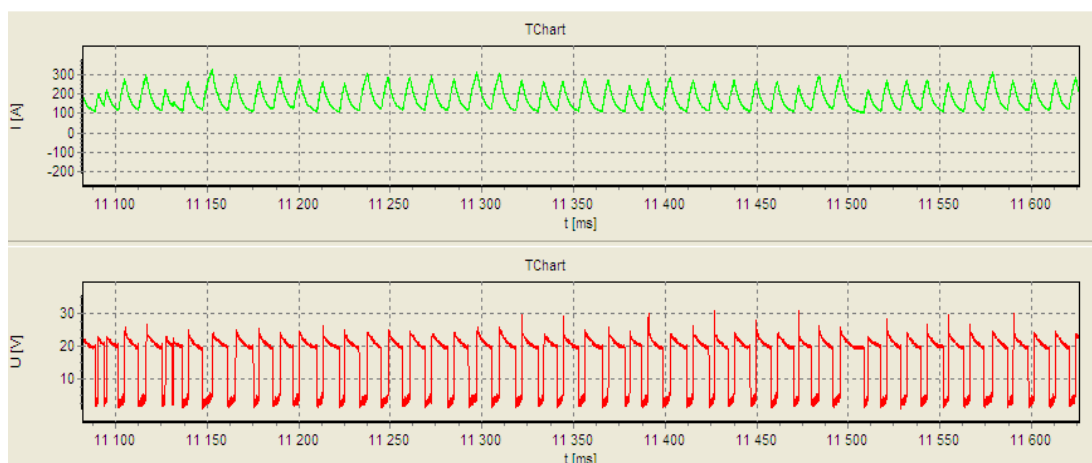
b) Měřené rozměry makrostruktury



c) Snímek svarové lázně vzorku S3c013



d) Měřené rozměry svarové lázně



Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S3c013

Svařovací parametry – vzorek S3c013

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S3c013	140	0,2	178,3	17,9	0,68	3,657	1,270	0,201	16,1

Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 pro S3 ve zkratovém režimu

Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

Číslo svaru	Stupeň kvality									
S3c008	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S3c009	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S3c010	B	B	B	B	D	B	B	B	B	B
S3c011	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S3c012	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S3c013	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S3c014	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S3c015	B	B	B	B	N	B	B	B	B	B

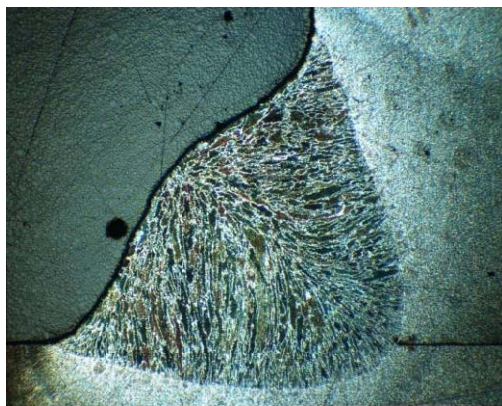
Geometrické rozměry svarové lázně vzorků S3 při zkratovém režimu

	a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
S3c008	3,6340	5,5697	6,2242	4,8042	0,6153	1,4622	7,3536
S3c009	3,9009	6,1084	6,5724	5,0773	0,5911	1,2550	7,9294
S3c010	3,8725	5,5593	6,8234	5,4218	0,4609	1,1348	7,7504
S3c011	3,8318	5,8506	6,3686	5,0490	0,6264	1,0745	7,6974
S3c012	3,8452	5,8243	6,5458	5,1354	0,4357	1,0003	7,7731
S3c013	3,7851	5,7672	6,3206	5,0121	0,5941	1,0794	7,6300
S3c014	3,8980	5,7157	6,5297	5,3182	0,5211	1,0076	7,8116
S3c015	3,7576	5,3417	6,2155	5,2873	0,8262	1,3027	7,5217
μ	3,8156	5,7171	6,4500	5,1382	0,5839	1,1646	7,6834
s	0,0835	0,2158	0,1934	0,1851	0,1133	0,1515	0,1686
v _x	2,1871	3,7743	2,9987	3,6031	19,4055	13,0127	2,1945
	x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
S3c008	0,9414	1,5395	0,7209	0,7914	4,3588	4,4333	40,1615
S3c009	0,9646	1,6920	0,7409	0,8067	4,6488	4,7122	39,0049
S3c010	0,8090	1,0834	0,5782	0,7696	4,4653	4,6573	43,9782
S3c011	1,0059	1,5118	0,7520	0,7991	4,5746	4,6203	39,7741
S3c012	0,7590	1,0899	0,5726	0,5726	4,4276	4,4276	41,3065
S3c013	1,0238	1,5289	0,7690	0,7690	4,5579	4,5579	40,9185
S3c014	0,8369	1,3466	0,6114	0,6114	4,5115	4,5115	42,5974
S3c015	1,1443	1,3660	0,8108	0,8654	4,5771	4,6281	44,4502
μ	0,9356	1,3948	0,6945	0,7482	4,5152	4,5685	41,5239
s	0,1194	0,2043	0,0870	0,0949	0,0878	0,0976	1,8512
v _x	12,7649	14,6502	12,5245	12,6853	1,9445	2,1372	4,4582
	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
S3c008	102,6459	117,5080	25,9118	13,4949	6,6037	15,51	7,05
S3c009	109,2006	116,0025	27,0069	15,6043	5,8743	16,01	4,46
S3c010	121,1210	96,7609	25,7863	15,2122	4,9250	15,63	7,08
S3c011	116,4894	101,0479	25,0019	14,8969	4,9740	15,68	5,19
S3c012	111,5917	120,2523	24,2572	15,0771	4,3630	15,78	7,39
S3c013	113,4097	118,4728	24,6503	14,5988	4,5829	15,62	5,20
S3c014	119,3657	115,2754	24,6564	15,3394	4,3776	15,66	7,79
S3c015	108,1642	88,7514	26,1410	14,2628	6,1949	15,16	6,73
μ	112,7485	109,2589	25,4265	14,8108	5,2369	15,63	6,36
s	5,7589	11,1784	0,8744	0,6350	0,8130	0,23	1,15
v _x	5,1078	10,2311	3,4388	4,5493	15,5253	1,44	18,06

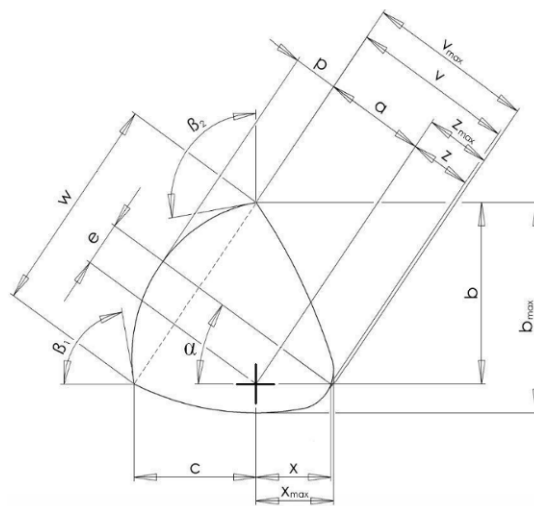
Pozn.: V tabulce hodnocení svarů hodnota „N“ označuje svar, jehož naměřená hodnota neodpovídá povolenému rozmezí dle ČSN EN ISO 5817.

Příloha č. 3

Vyhodnocení vzorku S4c005



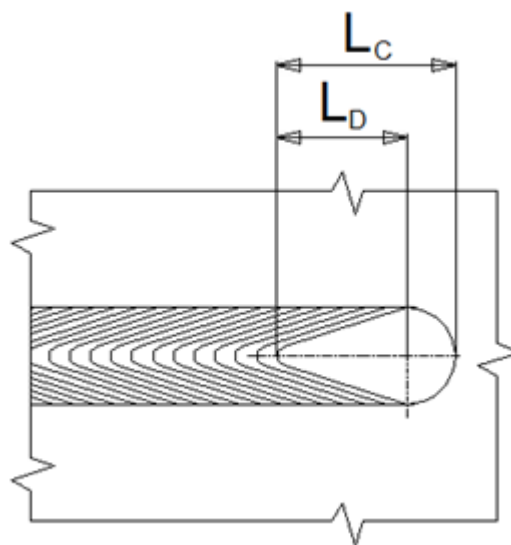
a) Snímek makrostruktury vzorku S4c005



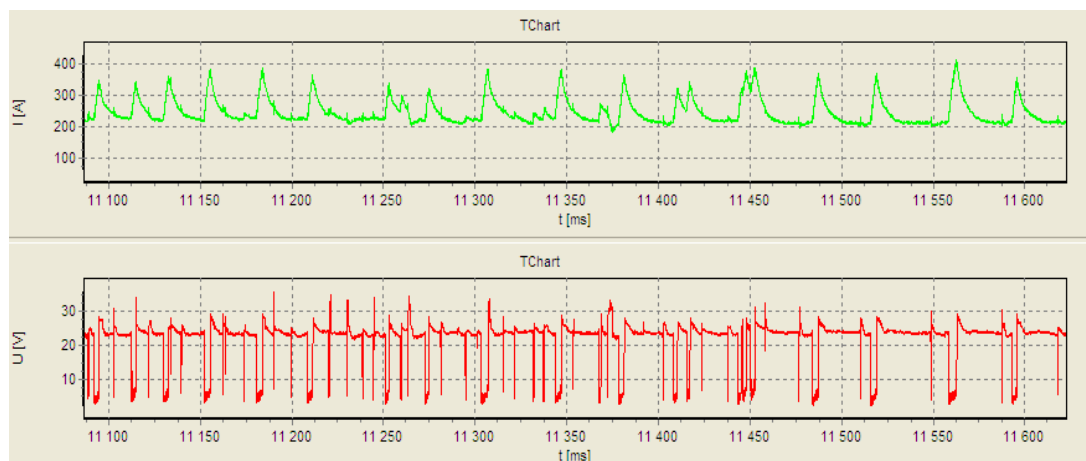
b) Měřené rozměry makrostruktury



c) Snímek svarové lázně vzorku S4c005



d) Měřené rozměry svarové lázně



Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S4c005

Svařovací parametry – vzorek S4c005

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S4c005	240	0,5	248,8	22,9	0,59	6,828	0,961	0,505	16,2

Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 pro S4 v bezkratovém režimu

Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

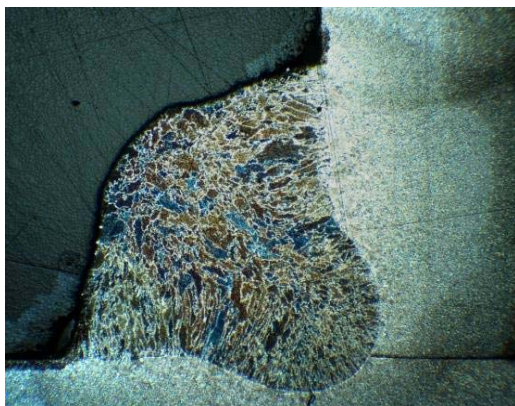
Číslo svaru	Stupeň kvality									
S4c001	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S4c002	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S4c003	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S4c004	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S4c005	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S4c006	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S4c007	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S4c008	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

Geometrické rozměry svarové lázně vzorků S4 při bezzkratovém režimu

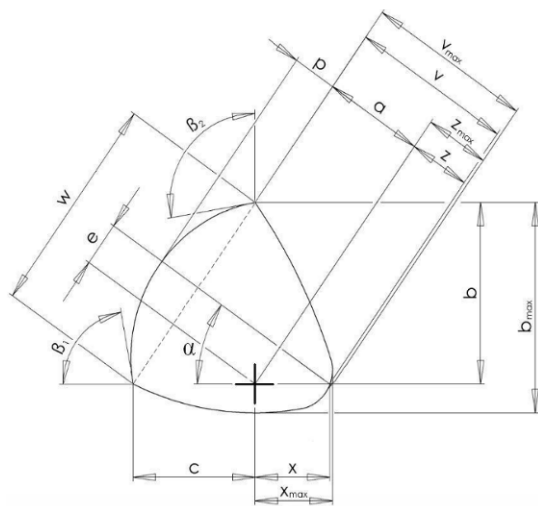
	a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
S4c001	3,6876	5,6255	6,5037	4,8895	1,1098	0,8313	7,2572
S4c002	3,5666	5,3477	6,2721	4,7371	1,2737	0,8246	7,1258
S4c003	3,6529	5,4160	6,2879	4,9712	0,8720	0,7562	7,3586
S4c004	3,5941	5,5552	6,1709	4,6817	1,1021	0,7287	7,2630
S4c005	3,5354	5,2261	6,0325	4,7817	1,1218	0,6207	7,0869
S4c006	3,5978	5,5234	6,2391	4,7261	0,7543	0,8011	7,2830
S4c007	3,5458	5,4248	6,2674	4,6677	0,9404	0,7709	7,1653
S4c008	3,6312	5,3279	6,2703	4,9570	1,0249	0,5946	7,2498
μ	3,6014	5,4308	6,2555	4,8015	1,0249	0,7410	7,2237
s	0,0496	0,1233	0,1227	0,1136	0,1534	0,0836	0,0842
v _x	1,3777	2,2702	1,9615	2,3655	14,9657	11,2844	1,1662
	x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
S4c001	1,5909	1,8875	1,1756	1,1756	4,8905	4,8835	40,6986
S4c002	1,4620	1,7521	1,0847	1,0847	4,6311	4,6311	41,9197
S4c003	1,2777	1,5363	0,9369	0,9369	4,6053	4,6053	41,5981
S4c004	1,5184	2,2837	1,1665	1,2742	4,7541	4,8610	39,9796
S4c005	1,5958	1,7154	1,1846	1,1846	4,7171	4,7171	42,0470
S4c006	1,0674	1,7324	0,8130	0,8591	4,4081	4,4570	40,9722
S4c007	1,4410	1,6629	1,0871	1,1430	4,6253	4,6832	40,6936
S4c008	1,4642	1,7056	1,0759	1,1330	4,7050	4,7632	40,3349
μ	1,4272	1,7845	1,0655	1,0989	4,6671	4,7002	41,0305
s	0,1651	0,2095	0,1213	0,1280	0,1301	0,1308	0,7037
v _x	11,5697	11,7374	11,3857	11,6456	2,7871	2,7835	1,7150
	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
S4c001	125,6746	132,2339	26,1456	13,8261	2,6114	22,59	4,42
S4c002	125,2536	130,6693	25,8120	12,7760	2,6900	23,06	4,78
S4c003	128,2148	133,6923	25,7639	13,6485	2,4821	22,31	5,75
S4c004	124,5647	133,5812	26,0893	13,1051	2,4019	21,83	5,99
S4c005	125,0593	128,7736	25,3956	12,5430	2,2153	21,96	5,23
S4c006	127,1367	135,4432	25,0195	13,1766	2,4255	21,65	5,54
S4c007	126,1367	129,0095	25,2397	12,7365	2,5473	23,26	5,20
S4c008	128,6131	132,8413	25,7659	13,3086	2,0748	22,43	6,05
μ	126,3317	132,0305	25,6539	13,1401	2,4310	22,39	5,37
s	1,4041	2,2107	0,3745	0,4201	0,1904	0,54	0,54
v _x	1,1114	1,6744	1,4596	3,1972	7,8324	2,40	10,03

Příloha č. 4

Vyhodnocení vzorku S4c014



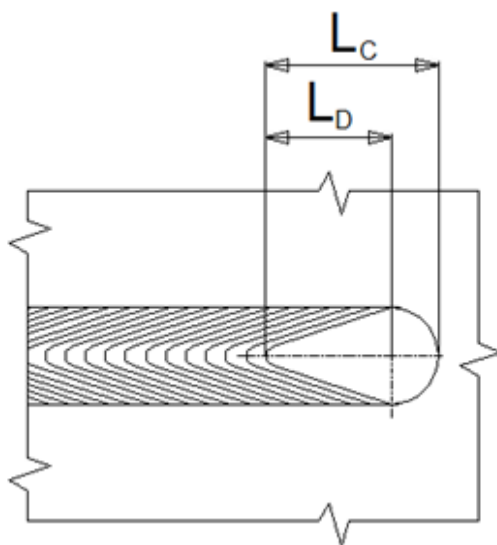
a) Snímek makrostruktury vzorku S4c014



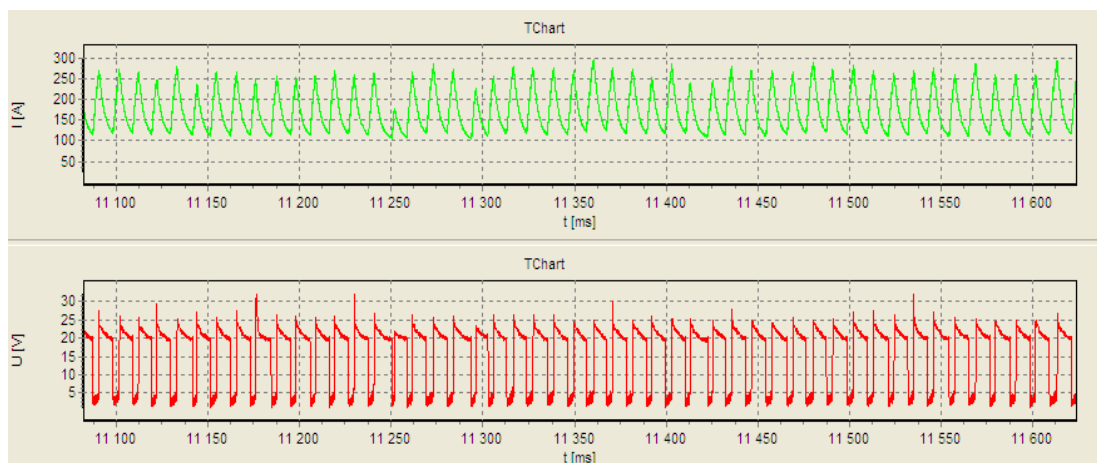
b) Měřené rozměry makrostruktury



c) Snímek svarové lázně vzorku S4c014



d) Měřené rozměry svarové lázně



Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S4c014

Svařovací parametry – vzorek S4c014

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S4c014	140	0,2	180,8	17,9	0,72	3,676	1,322	0,204	16,2

Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 pro S4 ve zkratovém režimu

Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

Číslo svaru	Stupeň kvality									
S4c009	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B
S4c010	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S4c011	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S4c012	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S4c013	B	B	B	B	N	B	B	B	B	B
S4c014	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S4c015	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B

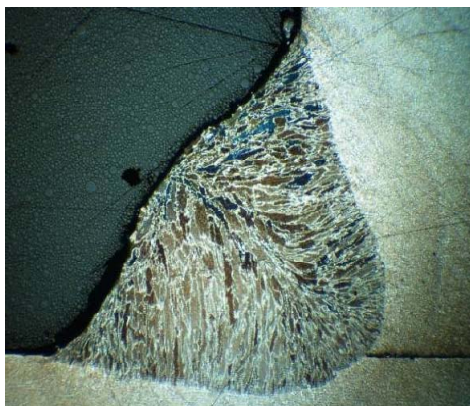
Geometrické rozměry svarové lázně vzorků S4 při zkratovém režimu

	a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
S4c009	3,6694	5,5304	6,0643	4,9069	0,3540	1,7440	7,3950
S4c010	3,6688	5,6573	5,8950	4,7928	0,3384	1,7061	7,4236
S4c011	3,6182	5,8743	5,9816	4,5904	0,3452	1,6183	7,4460
S4c012	3,5731	5,1898	6,0953	4,9216	0,4524	1,4176	7,1650
S4c013	3,6004	5,3992	6,0435	4,8316	0,4665	1,7178	7,2554
S4c014	3,5597	5,2779	5,8852	4,8097	0,4921	1,6762	7,1459
S4c015	3,6061	5,4729	5,9769	4,7855	0,4153	1,6615	7,2603
μ	3,6137	5,4860	5,9917	4,8055	0,4091	1,6488	7,2987
s	0,0396	0,2141	0,0753	0,1009	0,0588	0,1017	0,1141
v _x	1,0949	3,9025	1,2569	2,1000	14,3758	6,1683	1,5634
	x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
S4c009	0,5340	0,9169	0,4050	0,4050	4,9069	4,9069	42,9386
S4c010	0,5414	1,2880	0,4370	0,5049	4,0974	4,1649	42,1420
S4c011	0,5431	1,4016	0,4019	0,5265	4,0230	4,1471	40,2600
S4c012	0,6630	0,8745	0,4962	0,4962	4,0710	4,0710	38,4288
S4c013	0,7209	1,0168	0,5370	0,5370	4,1436	4,1436	44,4685
S4c014	0,8457	1,0881	0,6180	0,6180	4,1721	4,1721	41,8615
S4c015	0,7441	1,1402	0,5612	0,5612	4,1650	4,1650	41,6221
μ	0,6560	1,1037	0,4938	0,5213	4,2256	4,2529	41,6745
s	0,1126	0,1770	0,0769	0,0605	0,2825	0,2688	1,7807
v _x	17,1659	16,0352	15,5749	11,6109	6,6865	6,3214	4,2729
	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
S4c009	100,6351	105,3060	23,8659	13,6987	7,4876	12,65	5,76
S4c010	103,2460	105,5725	24,5015	13,6893	7,1617	12,97	5,14
S4c011	101,6599	111,5996	23,8823	13,6180	6,7779	12,64	4,52
S4c012	101,4622	103,8198	24,0021	12,9105	6,9386	12,57	5,85
S4c013	89,6920	103,2191	24,7142	13,1860	7,9377	12,94	4,47
S4c014	102,6920	104,1001	23,5212	12,8002	6,8597	12,89	6,84
S4c015	103,6871	104,4736	24,2031	13,2229	7,1749	13,13	5,98
μ	100,4392	105,4415	24,0986	13,3037	7,1912	12,83	5,51
s	4,4973	2,6258	0,3772	0,3448	0,3762	0,19	0,79
v _x	4,4776	2,4903	1,5651	2,5914	5,2316	1,51	14,34

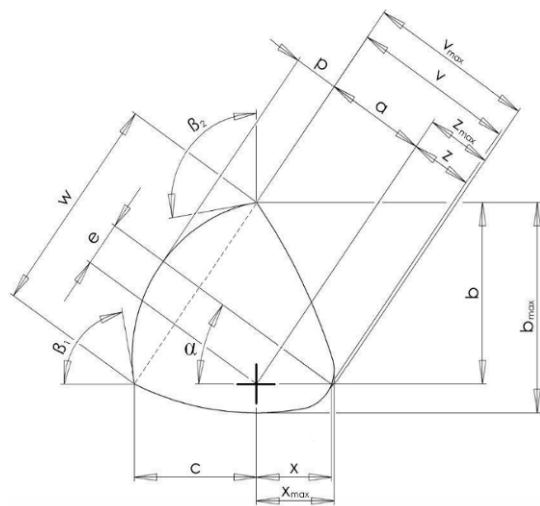
Pozn.: V tabulce hodnocení svarů hodnota „N“ označuje svar, jehož naměřená hodnota neodpovídá povolenému rozmezí dle ČSN EN ISO 5817.

Příloha č. 5

Vyhodnocení vzorku S5c110



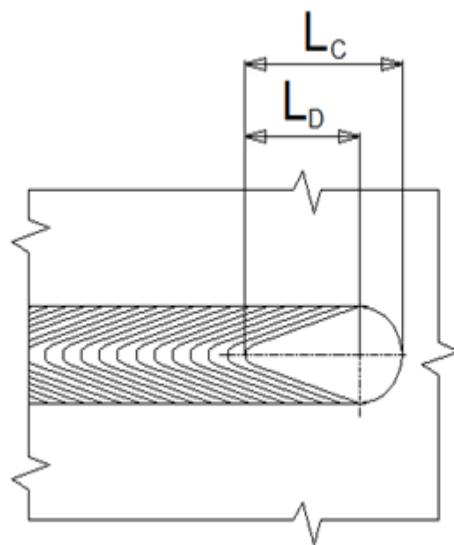
a) Snímek makrostruktury vzorku S5c110



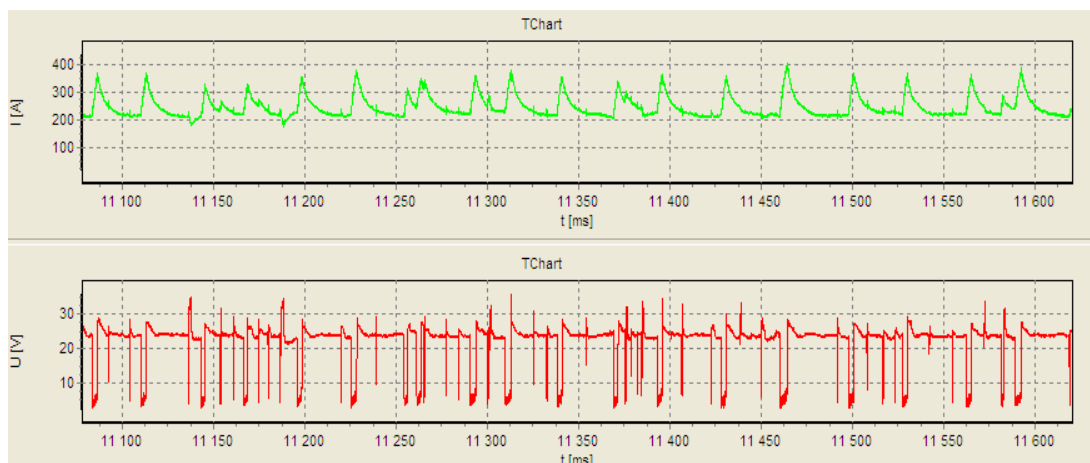
b) Měřené rozměry makrostruktury



c) Snímek svarové lázně vzorku S5c110



d) Měřené rozměry svarové lázně



Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S5c110

Svařovací parametry – vzorek S5c110

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S5c110	240	0,5	249,3	22,8	0,58	6,818	0,949	0,496	16,0

Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 pro S5 v bezkratovém režimu

Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

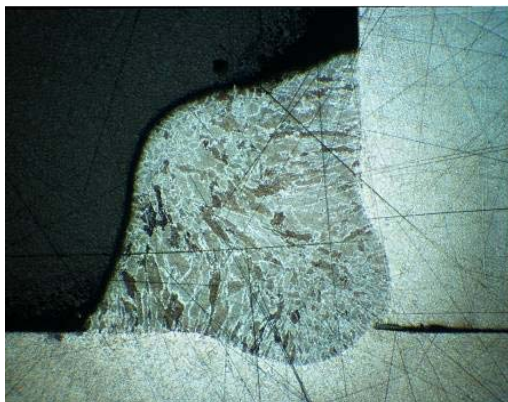
Číslo svaru	Stupeň kvality									
S5c106	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c107	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c108	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c109	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c110	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c111	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c061	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

Geometrické rozměry svarové lázně vzorků S5 při bezzkratovém režimu

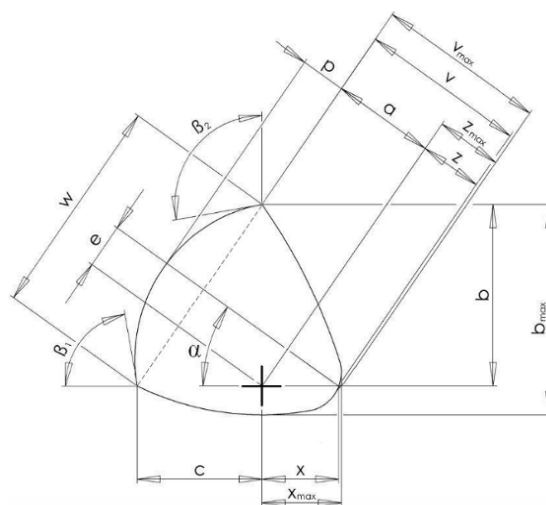
	a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
S5c106	3,6906	5,5375	6,2988	4,9347	0,8304	0,6177	7,4059
S5c107	3,6346	5,4913	6,2333	4,8335	0,8383	0,6910	7,3090
S5c108	3,6581	5,5358	6,3228	4,8760	0,7221	0,7001	7,4001
S5c109	3,6176	5,5371	6,1951	4,7849	0,8039	0,7451	7,3135
S5c110	3,7524	5,8749	6,5895	4,8534	0,9367	0,4817	7,6245
S5c111	3,7291	5,6255	6,1903	4,9596	1,0934	0,7604	7,4825
S5c061	3,6061	5,9744	6,5002	4,4961	0,6487	0,7827	7,4763
μ	3,6698	5,6538	6,3329	4,8197	0,8391	0,6827	7,4303
s	0,0520	0,1773	0,1436	0,1430	0,1339	0,0963	0,1017
v _x	1,4171	3,1352	2,2675	2,9678	15,9547	14,1077	1,3689
	x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
S5c106	1,2718	1,5315	0,9536	0,9536	4,6394	4,6394	42,7745
S5c107	1,3163	1,7772	1,0004	1,0004	4,6288	4,6288	42,3157
S5c108	1,0419	1,4697	0,7956	0,8116	4,4538	4,4754	41,1544
S5c109	1,3141	1,8394	0,9994	1,0569	4,6221	4,6806	41,5318
S5c110	1,3483	1,7359	1,0330	1,0330	4,7795	4,7795	39,5730
S5c111	1,6655	1,7963	1,2365	1,2365	4,9585	4,9585	40,5128
S5c061	1,0626	1,7193	0,8589	1,0400	4,4605	4,6416	36,8700
μ	1,2886	1,6956	0,9825	1,0189	4,6489	4,6863	40,6760
s	0,1924	0,1296	0,1302	0,1177	0,1637	0,1388	1,8432
v _x	14,9342	7,6449	13,2550	11,5548	3,5221	2,9612	4,5315
	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
S5c106	127,7996	132,3865	24,4223	13,7722	1,8698	19,65	4,21
S5c107	124,4149	132,2580	25,2199	13,3868	2,2471	19,47	5,41
S5c108	128,5225	132,2612	24,6443	13,6191	2,2435	19,43	5,70
S5c109	126,6380	133,5346	25,2049	13,3773	2,5285	19,35	4,20
S5c110	125,5274	137,3304	25,8439	14,3893	1,8800	19,77	4,41
S5c111	128,3404	135,3729	25,6548	14,0746	2,5425	18,68	4,80
S5c061	125,4700	142,4300	24,7422	13,5659	2,6942	18,40	5,50
μ	126,6733	135,0819	25,1046	13,7407	2,2865	19,25	4,89
s	1,4799	3,4790	0,4901	0,3455	0,3006	0,47	0,59
v _x	1,1683	2,5755	1,9522	2,5147	13,1475	2,46	12,16

Příloha č. 6

Vyhodnocení vzorku S5c006



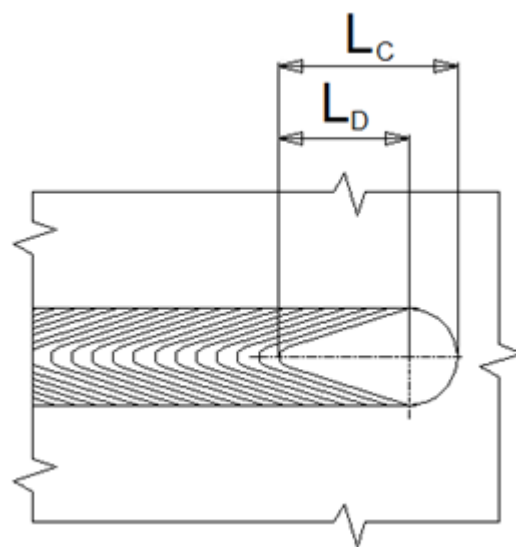
a) Snímek makrostruktury vzorku S5c006



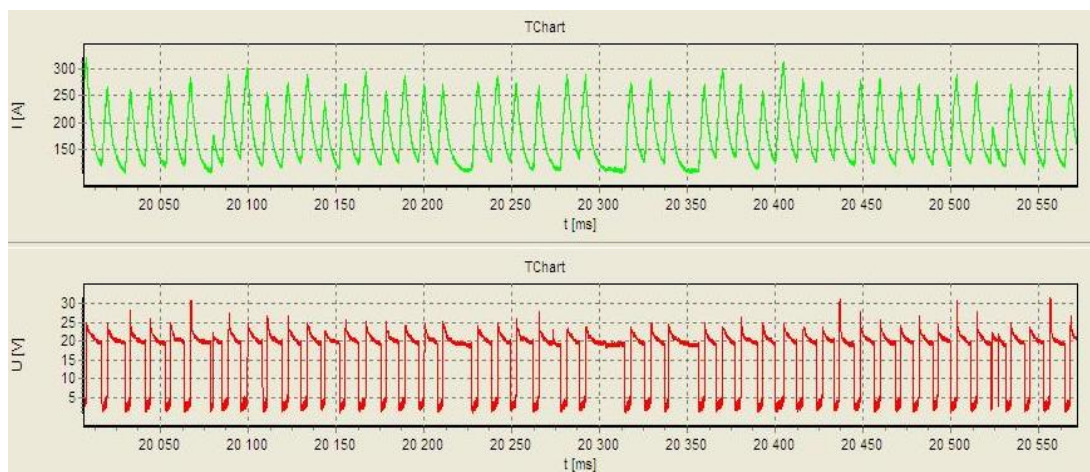
b) Měřené rozměry makrostruktury



c) Snímek svarové lázně vzorku S5c006



d) Měřené rozměry svarové lázně



Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S5c006

Svařovací parametry – vzorek S5c006

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S5c006	140	0,2	183,1	17,7	0,73	3,638	1,326	0,196	15,7

Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 pro S5 ve zkratovém režimu

Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

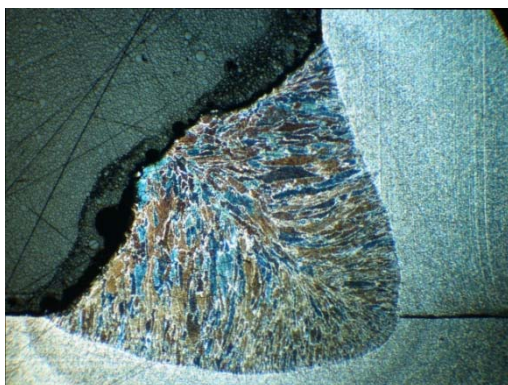
Číslo svaru	Stupeň kvality									
S5c006	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S5c112	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c114	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B
S5c115	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S5c116	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S5c117	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B
S5c118	B	B	B	B	D	B	B	B	B	B
S5c119	B	B	C	B	D	B	B	B	B	B
S5c120	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B

Geometrické rozměry svarové lázně vzorků S5 při zkratovém režimu

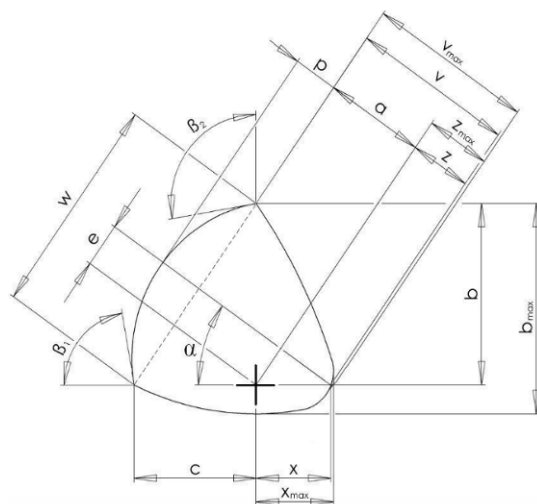
	a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
S5c006	3,6770	5,1600	5,7610	5,2529	0,2099	1,6880	7,3310
S5c112	3,9619	5,4511	6,5142	5,7638	0,0000	1,4748	7,9243
S5c114	3,5388	5,7438	5,7830	4,4777	0,4264	1,7646	7,2822
S5c115	3,7003	5,7123	5,8964	4,8151	0,2083	1,6532	7,4913
S5c116	3,7259	5,1815	6,1593	5,3280	0,1540	1,6034	7,4441
S5c117	3,4959	5,0900	5,7035	4,7940	0,2518	1,8073	6,9950
S5c118	3,7245	5,1968	6,0908	5,3287	0,0995	1,6593	7,4518
S5c119	3,8043	5,2653	6,0583	5,4783	0,0971	1,8941	7,5932
S5c120	3,5607	5,2887	5,7985	4,8483	0,2940	1,7248	7,1693
μ	3,6877	5,3433	5,9739	5,1208	0,1934	1,6966	7,4091
s	0,1362	0,0000	0,2447	0,0000	0,1180	0,1145	0,2495
v _x	3,6934	0,0000	4,0956	0,0000	61,0104	6,7464	3,3677
	x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
S5c006	0,1590	0,6240	0,0830	0,1740	3,7600	3,8510	45,3400
S5c112	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,9610	3,9619	45,8070
S5c114	0,6652	1,3993	0,5732	0,5732	4,1086	4,1086	37,4653
S5c115	0,4811	1,1059	0,3189	0,3969	4,0041	4,0820	39,9255
S5c116	0,2231	0,3774	0,1640	0,1640	3,8826	3,8826	43,0467
S5c117	0,4213	0,6411	0,2842	0,2842	3,7785	3,7785	42,9451
S5c118	0,1445	0,3979	0,1025	0,1939	3,8283	3,9195	45,2851
S5c119	0,2329	0,4482	0,1310	0,1310	3,9285	3,9285	45,5388
S5c120	0,4801	0,8640	0,3121	0,3121	3,8852	3,8852	41,7880
μ	0,3119	0,6509	0,2188	0,2477	3,9041	3,9331	43,0157
s	0,1990	0,4870	0,1630	0,1578	0,1048	0,0997	2,7199
v _x	63,8100	74,8300	74,5138	63,6903	2,6832	2,5354	6,3230
	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
S5c006	122,0100	109,7700	22,1304	13,6820	6,3353	11,25	5,85
S5c112	114,2305	110,6216	24,8083	15,8844	6,0446	11,64	4,74
S5c114	100,0515	109,6903	23,7739	12,9898	7,2205	11,90	5,37
S5c115	103,2930	114,9956	22,8298	13,8756	6,2329	11,85	5,19
S5c116	125,0092	126,0216	22,8508	13,9782	6,1911	12,37	4,74
S5c117	100,7548	116,8824	22,5700	12,3308	8,0267	11,24	4,28
S5c118	122,2253	99,1105	23,9561	13,9580	7,1369	11,27	4,63
S5c119	118,3233	99,4885	24,5708	14,5605	7,7581	12,23	4,82
S5c120	104,5091	107,1600	22,6518	12,9228	6,8500	12,61	4,71
μ	112,2674	110,4156	23,3491	13,7980	6,8662	11,82	4,93
s	9,5421	7,9242	0,8986	0,9766	0,6795	0,48	0,44
v _x	8,4994	7,1767	3,8485	7,0779	9,8957	4,09	8,96

Příloha č. 7

Vyhodnocení vzorku S6c003



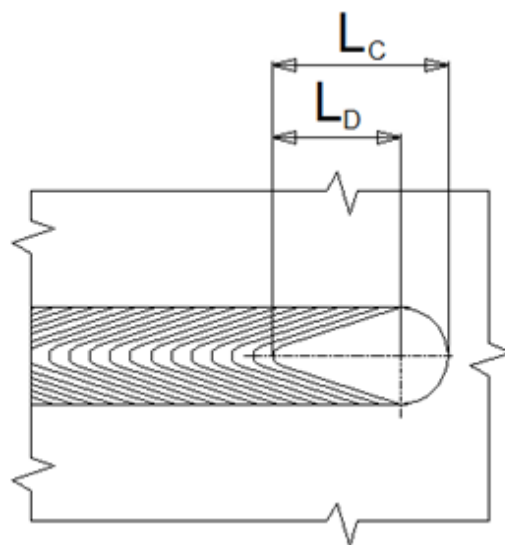
a) Snímek makrostruktury vzorku S6c003



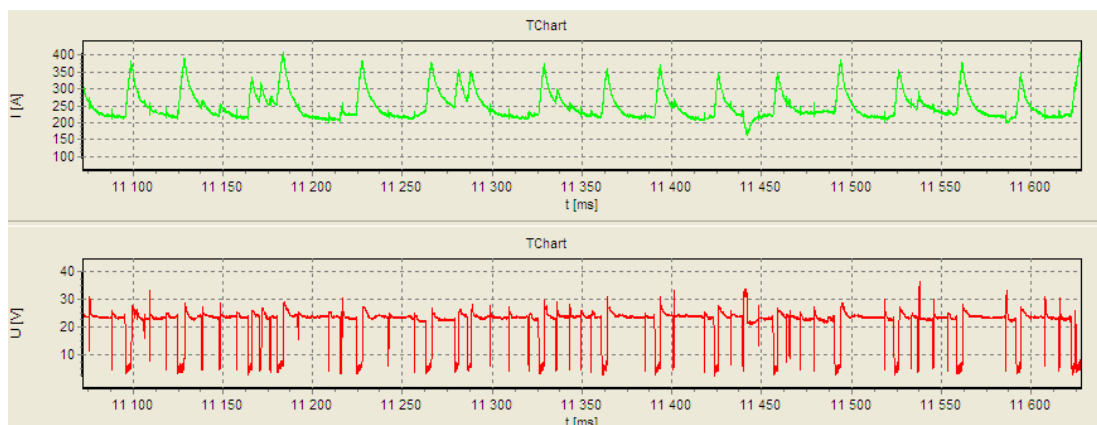
b) Měřené rozměry makrostruktury



c) Snímek svarové lázně vzorku S6c003



d) Měřené rozměry svarové lázně



Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S6c003

Svařovací parametry – vzorek S6c003

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S6c003	240	0,5	250,1	22,8	0,57	6,843	0,957	0,509	16,4

Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 pro S6 v bezkratovém režimu

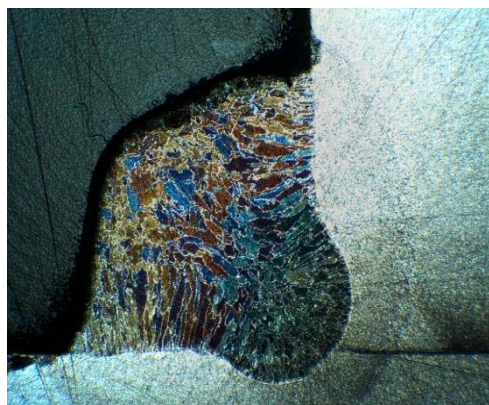
Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

Číslo svaru	Stupeň kvality									
S6c001	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S6c002	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S6c003	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S6c004	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S6c005	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S6c006	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S6c007	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

Geometrické rozměry svarové lázně vzorků S6 při bezzkratovém režimu

	a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
S6c001	3,5752	5,4897	6,2417	4,7000	1,0825	0,7742	7,2682
S6c002	3,5330	5,2685	6,3154	4,7578	1,0065	0,6977	7,0979
S6c003	3,6065	5,1881	6,2820	5,0375	1,0272	0,8282	7,2213
S6c004	3,6266	5,1250	6,1387	5,1033	0,8601	0,6478	7,2286
S6c005	3,6254	5,4577	6,4406	4,8393	0,9058	0,6752	7,2993
S6c006	3,6485	5,4685	6,4470	4,8754	0,6642	0,8868	7,3400
S6c007	3,5399	5,1672	6,0413	4,8704	1,0199	0,6897	7,0917
μ	3,5936	5,3092	6,2724	4,8834	0,9380	0,7428	7,2210
s	0,0417	0,1466	0,1378	0,1329	0,1322	0,0823	0,0882
v _x	1,1605	2,7611	2,1971	2,7221	14,0917	11,0856	1,2214
	x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
S6c001	1,5668	1,7245	1,1959	1,1959	4,7682	4,7682	40,6456
S6c002	1,4217	1,6200	1,0570	1,0570	4,5898	4,5898	42,9074
S6c003	1,4411	1,4970	1,0286	1,2146	4,6466	4,8316	44,5150
S6c004	1,3352	1,6298	0,9303	0,9303	4,5569	4,5569	44,3883
S6c005	1,3572	1,6009	1,0163	1,0859	4,6410	4,7149	41,3186
S6c006	1,2633	1,3744	0,9465	1,0418	4,5892	4,6872	42,0693
S6c007	1,4356	1,5742	1,0345	1,1268	4,5837	4,6760	43,9123
μ	1,4030	1,5744	1,0299	1,0932	4,6251	4,6892	42,8224
s	0,0894	0,1031	0,0805	0,0902	0,0656	0,0884	1,4182
v _x	6,3698	6,5470	7,8176	8,2514	1,4176	1,8858	3,3118
	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
S6c001	124,0403	134,3910	25,9074	12,8936	2,6525	19,26	5,50
S6c002	125,4133	131,3151	25,0061	12,5176	2,5979	18,92	4,08
S6c003	129,7936	130,0092	25,7670	13,1204	2,3805	18,94	4,48
S6c004	130,1859	125,6909	25,6951	13,2119	2,4767	18,14	5,41
S6c005	125,0752	129,7347	26,1510	13,3227	2,6822	19,08	4,98
S6c006	128,1398	132,9661	25,6845	13,4580	2,5462	18,92	5,44
S6c007	128,8501	125,1232	24,4716	12,6991	2,6538	18,11	5,67
μ	127,3569	129,8900	25,5261	13,0319	2,5700	18,77	5,08
s	2,2918	3,2104	0,5385	0,3164	0,1017	0,42	0,55
v _x	1,7995	2,4716	2,1096	2,4279	3,9566	2,24	10,87

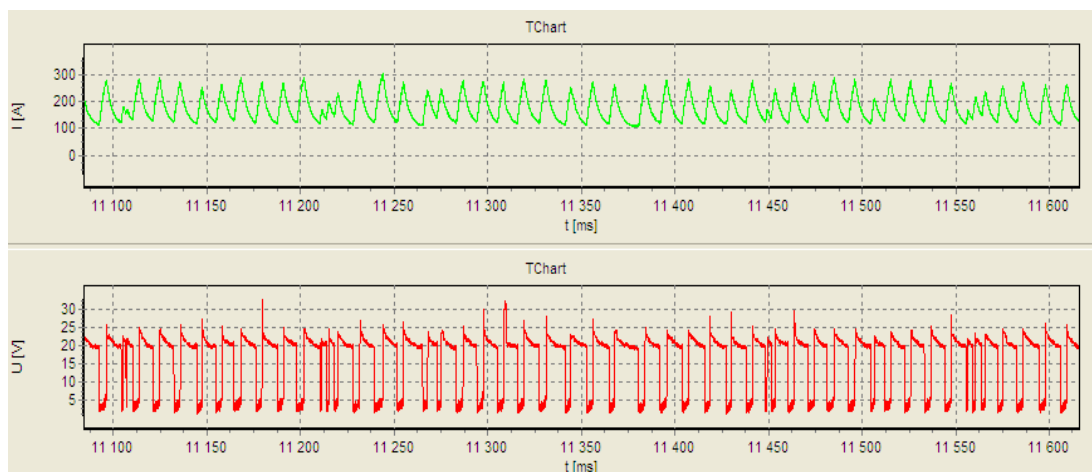
Vyhodnocení vzorku S6c011



A close-up photograph of a metal drill bit, showing its fluted design and a small hole at the tip. Below the drill bit is a white rectangular label with the text "S6c011" in bold black font.

A schematic diagram of a tapered bullet. The bullet is shown in cross-section, revealing a tapered internal core. The length of the bullet is divided into two segments: L_C (the length of the tapered section) and L_D (the length of the cylindrical section). The diagram includes a break symbol in the middle of the bullet's length.

- 99 -



Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S6c011

Svařovací parametry – vzorek S6c011

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S6c011	140	0,2	182,6	17,8	0,71	3,587	1,309	0,198	16,5

Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 pro S6 ve zkratovém režimu

Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

Číslo svaru	Stupeň kvality									
S6c008	B	B	C	B	D	B	B	B	B	B
S6c009	B	B	C	B	D	B	B	B	B	B
S6c010	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B
S6c011	B	B	C	B	D	B	B	B	B	B
S6c012	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S6c013	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S6c014	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B

Geometrické rozměry svarové lázně vzorků S6 při zkratovém režimu

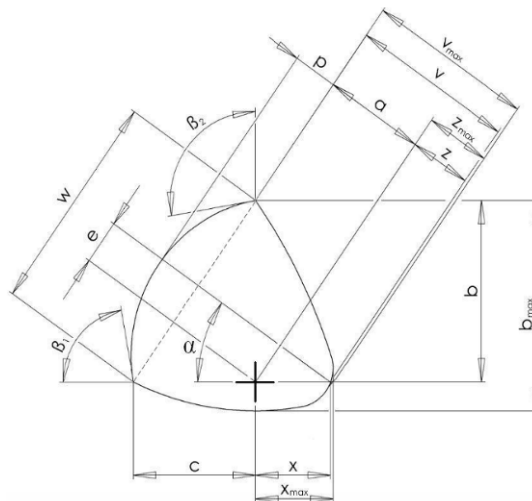
	a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
S6c008	3,5387	5,0915	5,4597	4,8989	0,1413	2,0288	7,0663
S6c009	3,4805	5,0517	5,3843	4,7920	0,1632	1,8118	6,9536
S6c010	3,6422	5,1424	5,8365	5,1422	0,2165	1,7533	7,2527
S6c011	3,5062	5,0803	5,6240	4,8328	0,2536	1,7439	6,9937
S6c012	3,7114	5,5180	5,5885	4,9962	0,0000	1,4361	7,4164
S6c013	3,6144	5,2663	5,8879	4,9897	0,1519	1,7005	7,2306
S6c014	3,6787	5,0234	5,7935	5,3807	0,0455	1,8001	7,3636
μ	3,5960	5,1677	5,6535	5,0046	0,1389	1,7535	7,1824
s	0,0822	0,1607	0,1785	0,1877	0,0828	0,1626	0,1675
v _x	2,2863	3,1099	3,1582	3,7501	59,6104	9,2712	2,3315
	x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
S6c008	0,2055	0,9226	0,1357	0,2328	3,6696	3,7665	43,5579
S6c009	0,3248	0,8764	0,2131	0,2131	3,6959	3,6959	43,1285
S6c010	0,3764	0,6162	0,2874	0,2874	3,9277	3,9277	44,8226
S6c011	0,3229	0,8008	0,2621	0,2621	3,7671	3,7671	44,4335
S6c012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,7114	3,7114	42,3385
S6c013	0,2855	0,7150	0,2183	0,2183	3,8469	3,8469	44,0814
S6c014	0,0721	0,3456	0,0466	0,0466	3,7254	3,7254	46,8763
μ	0,2267	0,6109	0,1662	0,1800	3,7634	3,7773	44,1770
s	0,1312	0,3066	0,1012	0,1027	0,0858	0,0769	1,3438
v _x	57,8617	50,1898	60,8870	114,0762	2,2788	2,0347	3,0419
	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
S6c008	111,5454	92,7585	22,8583	12,5956	7,5883	11,42	4,15
S6c009	100,6350	90,6138	22,9206	12,2216	8,0350	11,92	4,81
S6c010	109,4605	103,8068	23,1463	13,3474	7,0371	11,97	4,61
S6c011	110,9398	95,9200	22,1048	12,4056	7,0640	11,12	4,20
S6c012	114,6933	116,6140	21,1611	13,9125	5,4921	11,48	5,34
S6c013	103,5283	111,4708	22,9252	13,2759	6,8257	11,23	5,10
S6c014	110,8314	108,1240	23,1672	13,6328	7,3915	11,57	3,88
μ	108,8048	102,7583	22,6119	13,0559	7,0620	11,53	4,58
s	4,5649	9,1965	0,6772	0,6013	0,7419	0,30	0,50
v _x	4,1955	8,9496	2,9948	4,6054	10,5062	2,58	10,82

Příloha č.9

Vyhodnocení vzorku S8c004



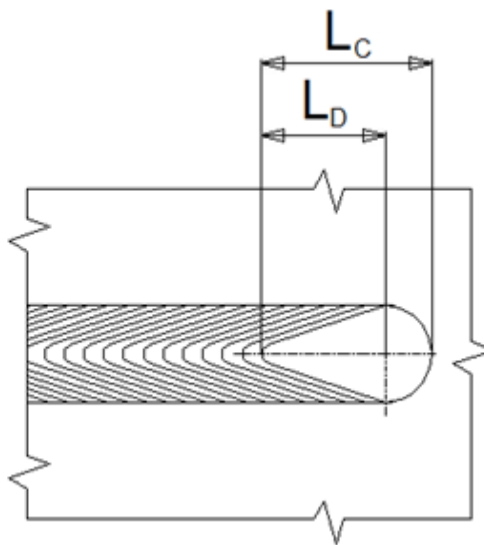
a) Snímek makrostruktury vzorku S8c004



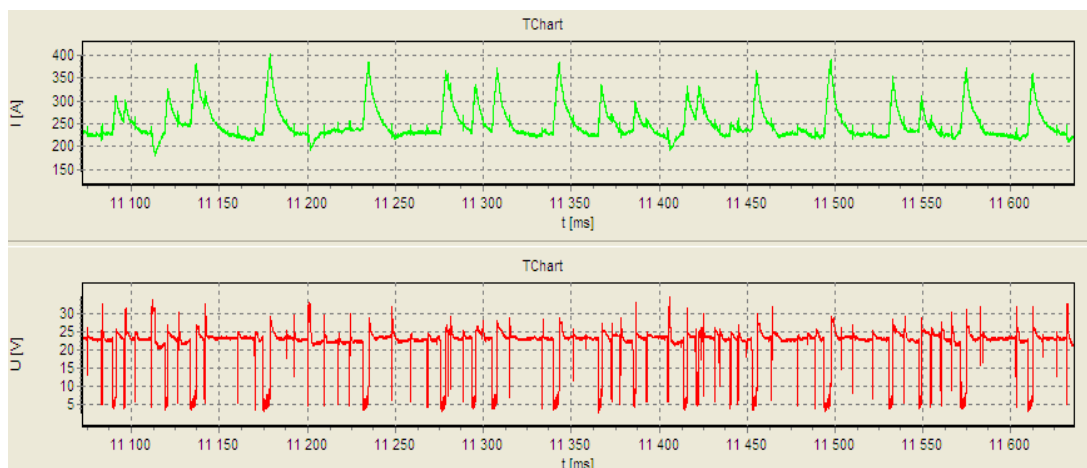
b) Měřené rozměry makrostruktury



c) Snímek svarové lázně vzorku S8c004



d) Měřené rozměry svarové lázně



Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S8c004

Svařovací parametry – vzorek S8c004

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S8c004	240	0,5	253,3	22,5	0,93	6,857	1,529	0,511	16,4

Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 pro S8 v bezkratovém režimu

Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

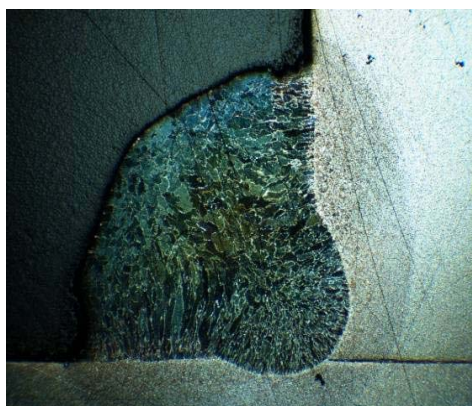
Číslo svaru	Stupeň kvality										
S8c001	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S8c002	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S8c003	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S8c004	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S8c005	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S8c006	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S8c007	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

Geometrické rozměry svarové lázně vzorků S8 při bezzkratovém režimu

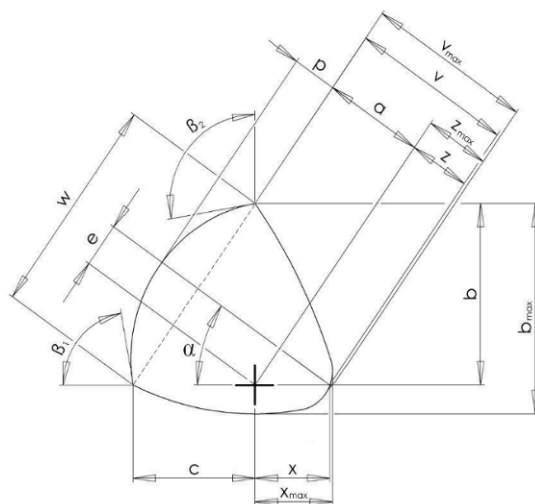
	a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
S8c001	3,6200	5,7489	6,4505	4,6715	1,1554	0,5786	7,4158
S8c002	3,6723	5,0235	6,2605	5,3849	0,6837	0,6177	7,3973
S8c003	3,7212	5,1820	6,4075	5,3110	0,8277	0,5403	7,3778
S8c004	3,6500	5,1678	6,4206	5,1336	0,6349	0,5864	7,2781
S8c005	3,6173	5,0764	6,3694	5,1564	0,9980	0,8221	7,2288
S8c006	3,4584	5,1679	6,1418	4,6513	1,0567	0,8406	6,9409
S8c007	3,6195	5,0916	6,1865	5,1516	0,5395	0,5909	7,2202
μ	3,6227	5,2083	6,3195	5,0658	0,8423	0,6538	7,2656
s	0,0755	0,2272	0,1136	0,2698	0,2166	0,1144	0,1519
v _x	2,0853	4,3625	1,7979	5,3252	25,7123	17,4927	2,0906
	x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
S8c001	1,6293	1,6888	1,2738	1,2738	4,8966	4,8966	38,5773
S8c002	0,9748	1,0502	0,6650	0,9261	4,3393	4,5597	46,9267
S8c003	1,2596	1,3339	0,8802	1,0949	4,5913	4,8093	46,7587
S8c004	0,9489	1,1396	0,6738	0,8772	4,3129	4,5159	44,8163
S8c005	1,3215	1,3215	0,9369	1,3678	4,5545	4,9836	45,3433
S8c006	1,4876	1,5717	1,0996	1,1777	4,5577	4,6406	42,2518
S8c007	0,8545	0,9609	0,5955	0,7406	4,2206	4,3621	45,7115
μ	1,2109	1,2952	0,8750	1,0654	4,4961	4,6811	44,3408
s	0,2719	0,2477	0,2318	0,2100	0,2107	0,2070	2,7575
v _x	22,4574	19,1256	26,4898	19,7094	4,6859	4,4211	6,2188
	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
S8c001	124,7488	136,7734	25,1993	13,5479	2,0756	18,89	3,79
S8c002	129,5941	128,8165	24,9163	13,6354	2,4196	18,67	5,10
S8c003	123,9063	127,0748	26,0430	13,8812	2,2616	18,55	3,87
S8c004	129,6920	129,3930	24,3297	13,2598	2,1333	18,72	3,91
S8c005	131,8751	123,4536	26,2714	13,2003	2,7670	18,98	3,96
S8c006	120,5102	128,9286	23,9627	12,1468	3,0012	18,86	4,50
S8c007	128,2466	127,2358	24,3434	13,2277	2,5755	18,45	3,24
μ	126,9390	128,8108	25,0094	13,2713	2,4620	18,73	4,05
s	3,7038	3,7407	0,8200	0,5145	0,3153	0,18	0,55
v _x	2,9178	2,9040	3,2788	3,8764	12,8073	0,95	13,48

Příloha č. 10

Vyhodnocení vzorku S8c010



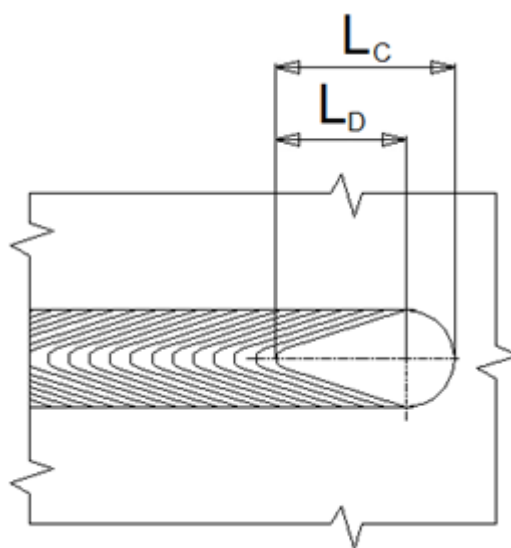
a) Snímek makrostruktury vzorku S8c010



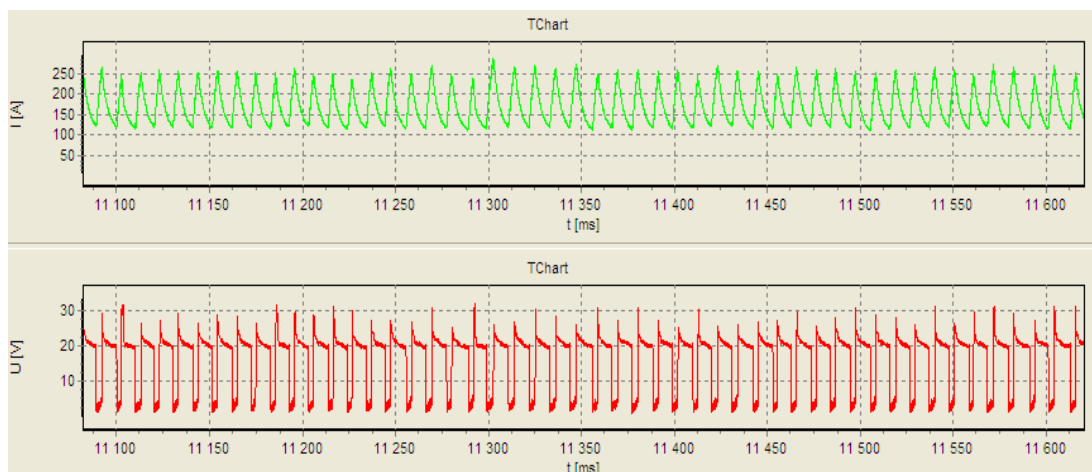
b) Měřené rozměry makrostruktury



c) Snímek svarové lázně vzorku S8c010



d) Měřené rozměry svarové lázně



Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S8c010

Svařovací parametry – vzorek S8c010

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S8c010	140	0,2	178,2	18	1,09	3,698	1,533	0,199	15,9

Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 pro S8 ve zkratovém režimu

Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

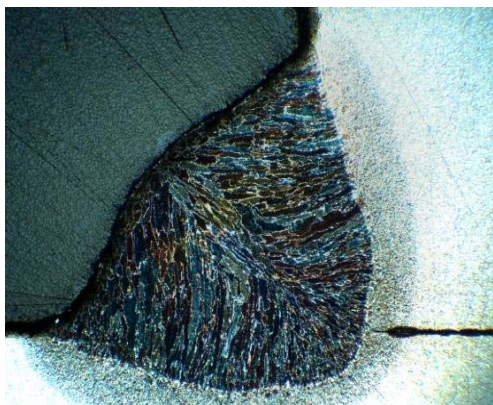
Číslo svaru	Stupeň kvality									
S8c008	B	B	C	B	D	B	B	B	B	B
S8c009	B	B	C	B	D	B	B	B	B	B
S8c010	B	B	C	B	D	B	B	B	B	B
S8c011	B	B	C	B	D	B	B	B	B	B
S8c012	B	B	B	B	D	B	B	B	B	B
S8c013	B	B	B	B	D	B	B	B	B	B
S8c014	B	B	B	B	D	B	B	B	B	B

Geometrické rozměry svarové lázně vzorků S8 při zkratovém režimu

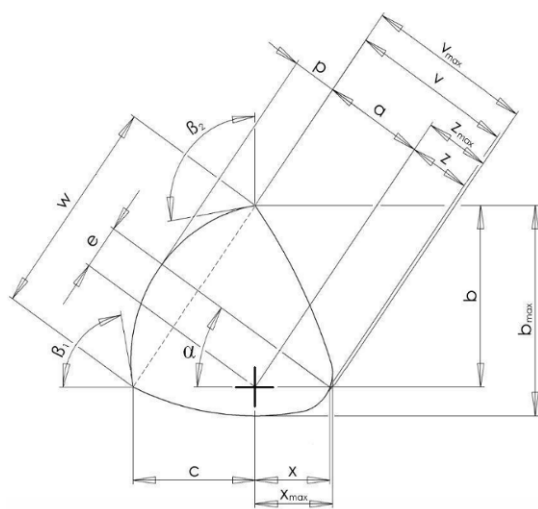
	a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
S8c008	3,5259	5,1645	5,6407	4,9480	0,0000	1,8327	7,1832
S8c009	3,6382	5,2815	5,6815	5,1217	0,0000	1,7419	7,3909
S8c010	3,5961	4,9804	5,6168	5,2393	0,1814	1,7520	7,2211
S8c011	3,4533	5,1714	5,5714	4,7967	0,0000	1,7170	7,0732
S8c012	3,6483	5,3197	5,7197	5,1357	0,0000	1,6181	7,3997
S8c013	3,6953	5,3534	5,7534	5,2116	0,0000	1,6794	7,4927
S8c014	3,5444	4,9769	5,6475	5,1210	0,0825	1,6863	7,1530
μ	3,5859	5,1783	5,6616	5,0820	0,0377	1,7182	7,2734
s	0,0771	0,1421	0,0573	0,1449	0,0652	0,0625	0,1431
v _x	2,1500	2,7434	1,0120	2,8503	172,9614	3,6385	1,9671
	x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
S8c008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,5259	3,5259	39,4797
S8c009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,6382	3,6382	39,5933
S8c010	0,2342	0,7710	0,1829	0,1829	3,7941	3,7941	42,3321
S8c011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,4533	3,4533	37,7580
S8c012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,6483	3,6483	38,8959
S8c013	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,6953	3,6953	39,6452
S8c014	0,1589	0,7747	0,1857	0,1857	3,7339	3,7339	41,7552
μ	0,0562	0,2208	0,0527	0,0527	3,6413	3,6413	39,9228
s	0,0910	0,3491	0,0833	0,0833	0,1093	0,1093	1,4777
v _x	162,1242	158,1145	158,1203	158,1203	3,0005	3,0005	3,7014
	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
S8c008	96,1227	104,5088	22,1703	12,7766	8,0406	11,04	4,97
S8c009	117,9890	99,0521	23,3427	13,5359	7,4978	11,65	5,41
S8c010	97,4934	109,1097	23,1125	13,1698	7,9949	11,56	5,64
S8c011	94,0105	104,0454	22,1139	12,3716	7,9081	11,55	4,94
S8c012	99,9914	106,5100	23,2590	13,6571	7,9960	11,78	5,63
S8c013	94,0847	134,3342	22,6640	13,9504	6,9671	11,27	4,29
S8c014	99,6561	103,4827	22,8356	12,8008	7,6004	11,54	6,10
μ	99,9068	108,7204	22,7854	13,1803	7,7150	11,48	5,28
s	7,7075	10,8339	0,4611	0,5221	0,3626	0,23	0,55
v _x	7,7147	9,9649	2,0237	3,9610	4,6997	2,01	10,45

Příloha č. 11

Vyhodnocení vzorku S10c021



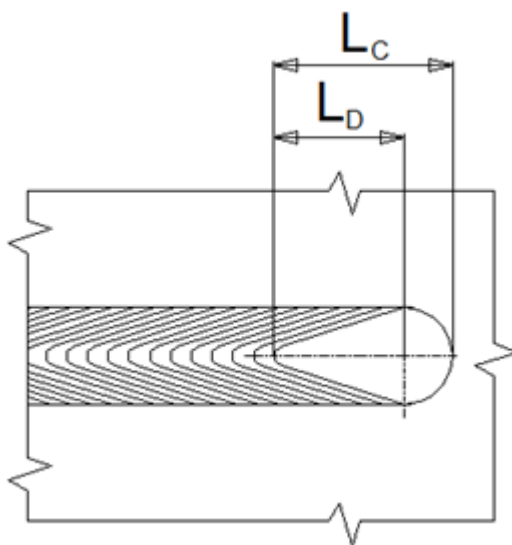
a) Snímek makrostruktury vzorku S10c021



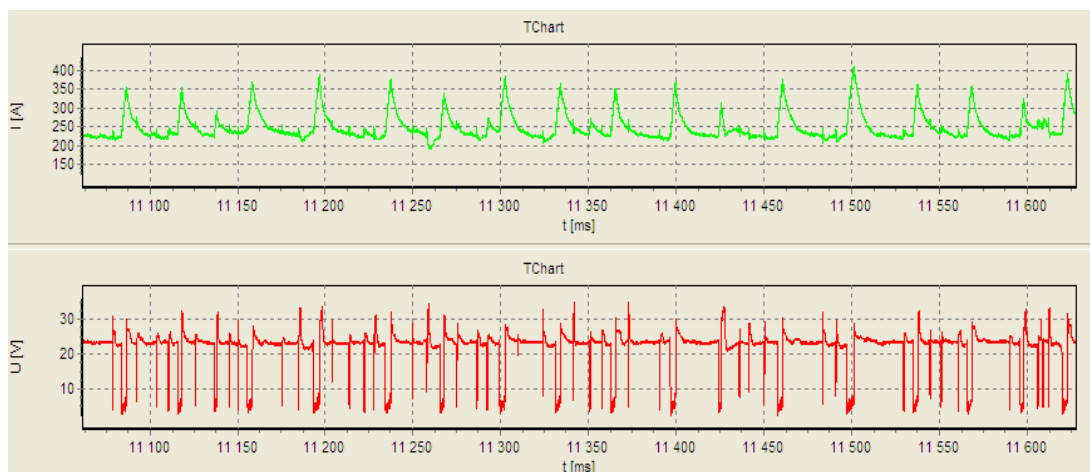
b) Měřené rozměry makrostruktury



c) Snímek svarové lázně vzorku S10c021



d) Měřené rozměry svarové lázně



Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S10c021

Svařovací parametry – vzorek S10c021

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S10c021	240	0,5	250,7	22,6	0,58	6,844	0,952	0,509	16,4

Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 pro S10 v bezzkratovém režimu

Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

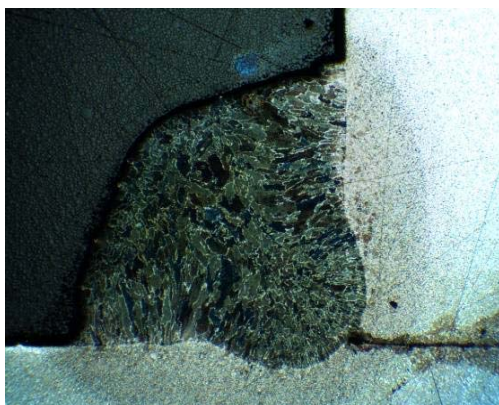
Číslo svaru	Stupeň kvality									
S10c021	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S10c022	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S10c023	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S10c024	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S10c025	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S10c026	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S10c027	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

Geometrické rozměry svarové lázně vzorků S10 při bezzkratovém režimu

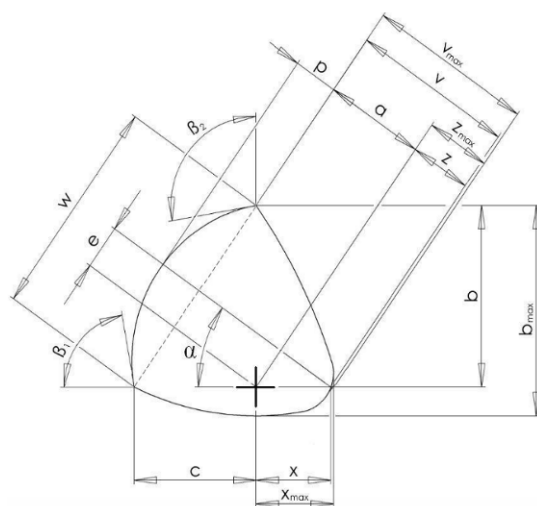
	a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
S10c021	3,6102	5,2312	6,2757	4,9835	0,5806	0,7208	7,2469
S10c022	3,6100	5,1070	6,1827	5,1042	0,8647	0,4768	7,2119
S10c023	3,7383	5,4085	6,4532	5,1835	0,9579	0,5115	7,4663
S10c024	3,6458	5,0463	6,2309	5,2884	0,6702	0,6176	7,2875
S10c025	3,6254	5,1531	6,2082	5,0681	0,8329	0,4844	7,2284
S10c026	3,8738	5,3144	6,3871	5,6405	0,5924	0,4603	7,7451
S10c027	3,6293	5,0594	6,2949	5,2060	0,9235	0,5373	7,2536
μ	3,6761	5,1886	6,2904	5,2106	0,7746	0,5441	7,3485
s	0,0905	0,1258	0,0910	0,1981	0,1459	0,0869	0,1802
v _x	2,4621	2,4254	1,4469	3,8027	18,8363	15,9696	2,4522
	x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
S10c021	0,9338	1,1494	0,6811	0,8915	4,2909	4,5048	43,3468
S10c022	1,2456	1,3269	0,8836	1,1123	4,4968	4,7205	45,1113
S10c023	1,5209	1,5617	1,1054	1,2896	4,8515	5,0472	42,9646
S10c024	1,0448	1,3037	0,7166	0,8863	4,3784	4,5421	44,2415
S10c025	1,2304	1,6367	0,8630	0,8630	4,4829	4,4829	44,5762
S10c026	0,8294	1,0415	0,5637	0,5637	4,4371	4,4371	45,3697
S10c027	1,2896	1,2896	0,8975	1,1241	4,5283	4,7522	45,5203
μ	1,1564	1,3299	0,8158	0,9615	4,4951	4,6410	44,4472
s	0,2181	0,1949	0,1643	0,2189	0,1634	0,1995	0,9190
v _x	18,8608	14,6557	20,1358	22,7635	3,6356	4,2986	2,0675
	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
S10c021	126,5560	129,9773	24,0259	13,1433	2,6057	18,89	4,24
S10c022	131,2245	128,9583	24,5099	13,1551	1,8745	18,71	4,05
S10c023	130,7171	135,1224	25,9588	14,1573	1,6668	19,17	3,89
S10c024	131,0932	126,0572	25,1942	13,4666	2,4872	19,12	4,12
S10c025	133,7497	128,5742	24,9839	13,1864	1,8819	18,13	4,28
S10c026	132,4862	129,5597	25,6346	15,1228	2,0787	17,86	4,06
S10c027	131,1973	129,3919	25,1313	13,2825	1,7712	18,72	5,90
μ	131,0034	129,6630	25,0627	13,6449	2,0523	18,66	4,36
s	2,0597	2,5262	0,6022	0,6878	0,3347	0,46	0,64
v _x	1,5723	1,9483	2,4029	5,0408	16,3107	2,44	14,64

Příloha č. 12

Vyhodnocení vzorku S10c028



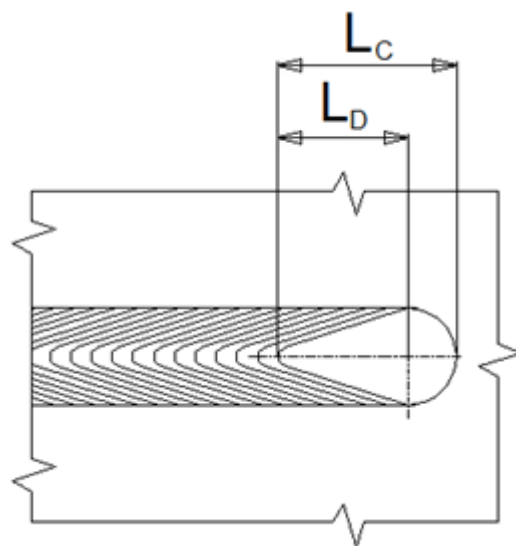
a) Snímek makrostruktury vzorku S10c028



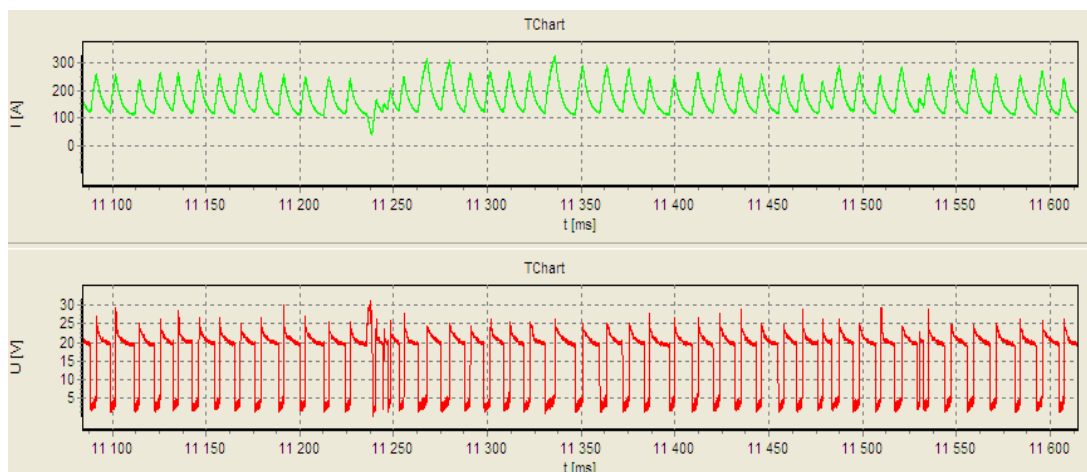
b) Měřené rozměry makrostruktury



c) Snímek svarové lázně vzorku S10c028



d) Měřené rozměry svarové lázně



Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S10c028

Svařovací parametry – vzorek S10c028

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S10c028	140	0,2	177,1	18	0,68	3,67	1,247	0,203	16,0

Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 pro S10 ve zkratovém režimu

Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

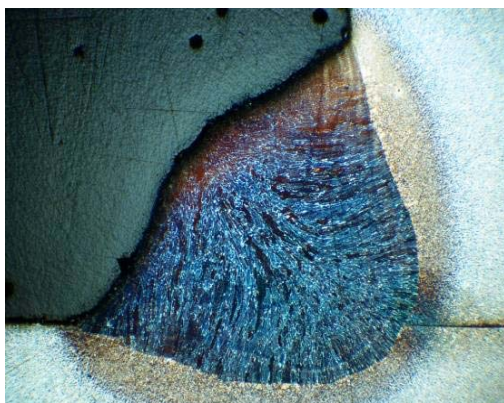
Číslo svaru	Stupeň kvality									
S10c028	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S10c029	B	B	C	B	D	B	B	B	B	B
S10c030	B	B	D	B	D	B	B	B	B	B
S10c031	B	B	C	B	D	B	B	B	B	B
S10c032	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B
S10c033	B	B	C	B	D	B	B	B	B	B
S10c034	B	B	C	B	D	B	B	B	B	B
S10c035	B	B	C	B	D	B	B	B	B	B

Geometrické rozměry svarové lázně vzorků S10 při zkratovém režimu

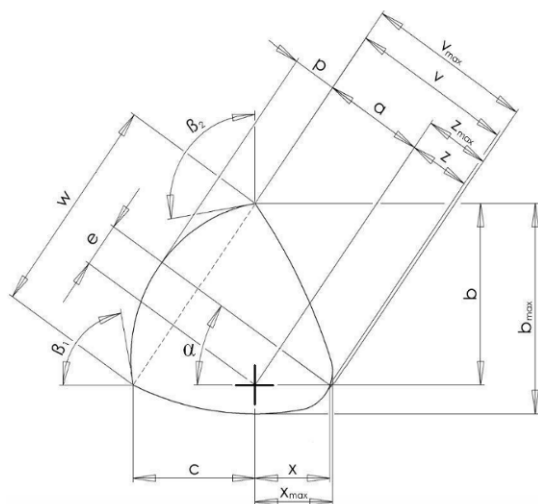
	a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
S10c028	3,6736	4,8693	5,5477	5,4979	0,0000	1,6811	7,3266
S10c029	3,4121	4,4952	5,3819	5,1720	0,0860	2,0171	6,8548
S10c030	3,4385	5,1385	5,5540	4,7107	0,1432	2,0509	6,9984
S10c031	3,5487	5,5418	5,7918	4,7246	0,0000	1,7717	7,2954
S10c032	3,5881	5,3481	5,5981	4,9110	0,0000	1,7343	7,2743
S10c033	3,4172	4,8465	5,5553	4,8414	0,1435	1,9835	6,8707
S10c034	3,3700	5,3539	5,6039	4,4592	0,0000	1,9997	7,0065
S10c035	3,3689	5,5018	5,7518	4,3917	0,0000	1,8589	7,0585
μ	3,4771	5,1369	5,5981	4,8386	0,0466	1,8872	7,0857
s	0,1052	0,3458	0,1195	0,3399	0,0624	0,1349	0,1774
v _x	3,0255	6,7313	2,1346	7,0242	133,9012	7,1487	2,5036
	x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
S10c028	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,6736	3,6736	44,3617
S10c029	0,1274	0,3469	0,0917	0,0917	3,5040	3,5040	46,0667
S10c030	0,1504	0,7671	0,1381	0,1381	3,5832	3,5832	39,9964
S10c031	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,5487	3,5487	38,3166
S10c032	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,5881	3,5881	39,2726
S10c033	0,1969	0,6111	0,1520	0,1520	3,5618	3,5618	42,2994
S10c034	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,3700	3,3700	36,6987
S10c035	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,3689	3,3689	34,9542
μ	0,0593	0,2156	0,0477	0,0477	3,5248	3,5248	40,2458
s	0,0786	0,2980	0,0636	0,0636	0,1001	0,1001	3,5418
v _x	132,5019	138,1751	133,2705	133,2705	2,8406	2,8406	8,8004
	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
S10c028	101,9565	103,8834	22,5247	13,5547	7,6022	10,32	4,14
S10c029	98,8842	96,8673	21,8134	11,7674	8,3150	10,88	4,08
S10c030	96,3100	100,7220	23,6367	12,1322	9,2267	10,96	3,83
S10c031	96,7655	112,1822	22,7443	13,0867	7,4139	10,91	3,78
S10c032	109,3304	112,1113	21,9314	13,1528	6,9557	10,84	4,69
S10c033	96,9182	94,2693	21,3282	11,7988	7,6699	11,02	4,61
S10c034	90,6987	100,2614	22,2550	11,9330	8,4198	10,27	4,01
S10c035	91,6187	118,8459	22,9780	12,0240	8,1975	10,96	3,85
μ	97,8103	104,8929	22,4015	12,4312	7,9751	10,77	4,12
s	5,5239	8,0395	0,6829	0,6668	0,6629	0,28	0,33
v _x	5,6475	7,6644	3,0486	5,3636	8,3122	2,59	7,91

Příloha č. 13

Vyhodnocení vzorku S12c006



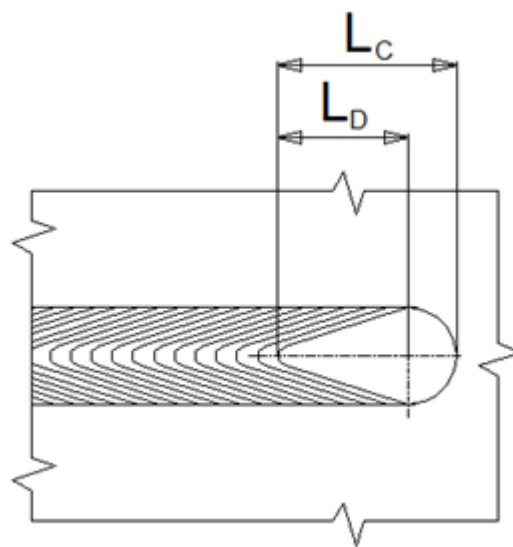
a) Snímek makrostruktury vzorku S12c006



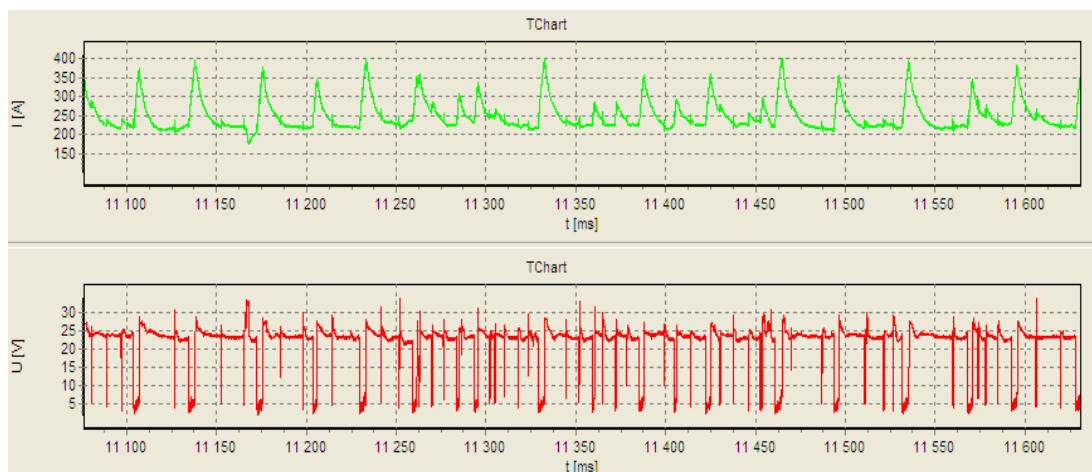
b) Měřené rozměry makrostruktury



c) Snímek svarové lázně vzorku S12c006



d) Měřené rozměry svarové lázně



Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S12c006

Svařovací parametry – vzorek S12c006

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S12c006	240	0,5	251,9	22,7	0,59	6,86	0,962	0,508	16,4

Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 pro S12 v bezzkratovém režimu

Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

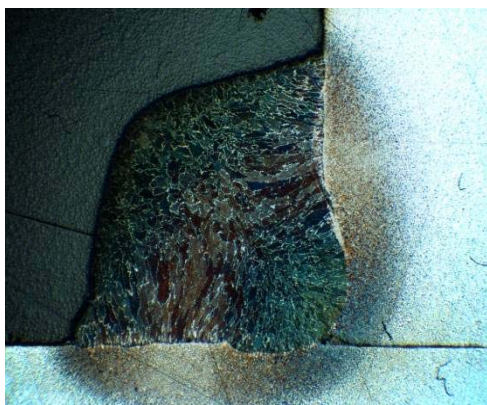
Číslo svaru	Stupeň kvality										
S12c001	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S12c002	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S12c003	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S12c004	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S12c005	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S12c006	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S12c007	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

Geometrické rozměry svarové lázně vzorků S12 při bezkratovém režimu

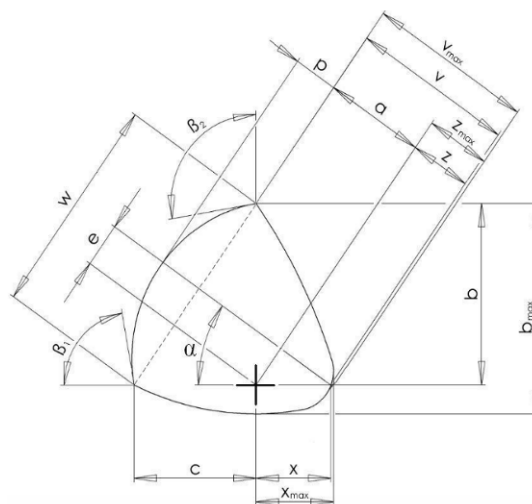
	a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
S12c001	3,7044	5,2884	6,4230	5,1998	0,8282	0,5572	7,4159
S12c002	3,5611	5,0836	6,1273	4,9872	0,6298	0,8410	7,1107
S12c003	3,6204	4,9253	6,1740	5,3260	0,7197	0,7091	7,2587
S12c004	3,5834	4,7965	5,8749	5,3504	0,7398	0,5501	7,1743
S12c005	3,7168	5,2247	6,5066	5,2955	0,7415	0,5024	7,4122
S12c006	3,5800	5,0855	6,1551	5,0410	0,6599	0,6731	7,1594
S12c007	3,5127	5,2485	6,1502	4,7142	0,8460	0,7072	7,0421
μ	3,6113	5,0932	6,2016	5,1306	0,7378	0,6486	7,2248
s	0,0696	0,1673	0,1927	0,2140	0,0736	0,1096	0,1342
v _x	1,9265	3,2844	3,1068	4,1703	9,9801	16,9041	1,8571
	x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
S12c001	1,1589	1,4198	0,8240	0,8240	4,5371	4,5371	42,5216
S12c002	0,8987	1,1114	0,6517	0,7281	4,2167	4,2927	44,5023
S12c003	1,0607	1,0607	0,7011	0,9866	4,3313	4,6070	46,8370
S12c004	1,2135	1,3092	0,8092	0,9963	4,3798	4,5752	48,1931
S12c005	1,1837	1,1837	0,8720	1,0821	4,5664	4,8128	44,4309
S12c006	1,0132	1,3144	0,7236	0,8907	4,3098	4,4742	41,8995
S12c007	1,2593	1,4881	0,9380	0,9842	4,4489	4,4954	40,2881
μ	1,1126	1,2696	0,7885	0,9274	4,3986	4,5421	44,0961
s	0,1179	0,1463	0,0938	0,1116	0,1169	0,1452	2,5740
v _x	10,5930	11,5269	11,8946	12,0324	2,6586	3,1970	5,8374
	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
S12c001	131,7161	133,1913	25,1899	13,8654	1,6995	18,57	4,44
S12c002	128,2541	125,8052	24,0314	12,8018	2,9134	18,48	3,42
S12c003	132,6742	127,5135	24,9043	13,2469	2,3563	18,67	3,60
S12c004	136,0627	129,7415	23,7601	12,9490	1,7315	18,21	3,49
S12c005	126,9107	133,6642	25,1366	13,9627	1,6025	17,79	4,20
S12c006	127,3733	123,5320	24,6075	12,9551	2,8577	18,17	3,90
S12c007	126,9794	130,1745	24,0906	12,5115	2,3694	18,13	4,51
μ	129,9958	129,0889	24,5315	13,1846	2,2186	18,29	3,94
s	3,2835	3,4540	0,5324	0,5044	0,5098	0,28	0,42
v _x	2,5258	2,6757	2,1702	3,8253	22,9779	1,54	10,66

Příloha č. 14

Vyhodnocení vzorku S12c013



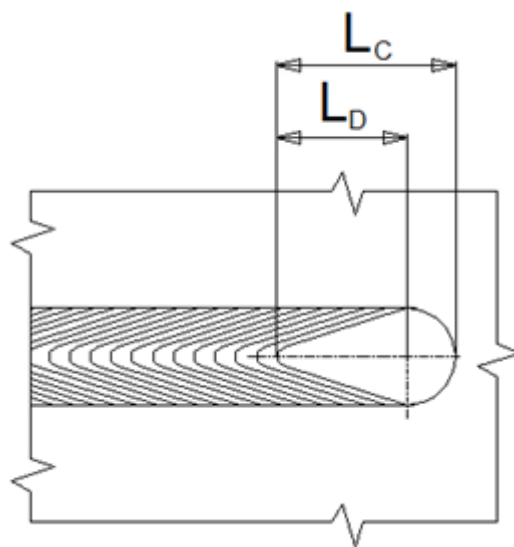
a) Snímek makrostruktury vzorku S12c013



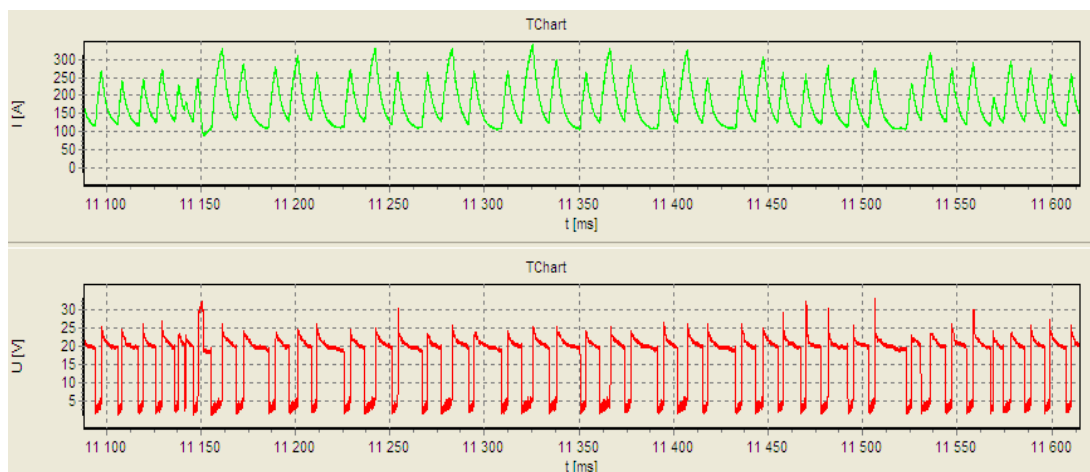
b) Měřené rozměry makrostruktury



c) Snímek svarové lázně vzorku S12c013



d) Měřené rozměry svarové lázně



Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S12c013

Svařovací parametry – vzorek S12c013

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S12c013	140	0,2	180	17,8	0,72	3,679	1,341	0,196	16,0

Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 pro S12 ve zkratovém režimu

Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

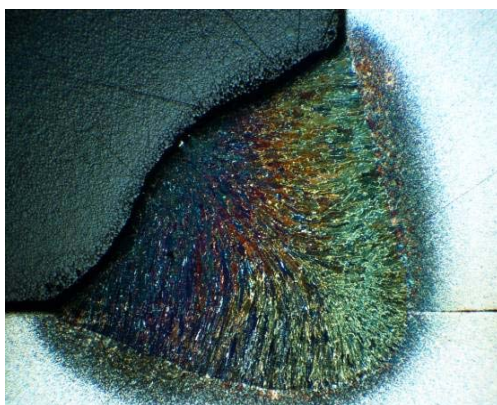
Číslo svaru	Stupeň kvality									
S12c008	B	B	C	B	D	B	B	B	B	B
S12c009	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B
S12c010	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B
S12c011	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S12c012	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S12c013	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B
S12c014	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B
S12c015	B	B	C	B	D	B	B	B	B	B

Geometrické rozměry svarové lázně vzorků S12 při zkratovém režimu

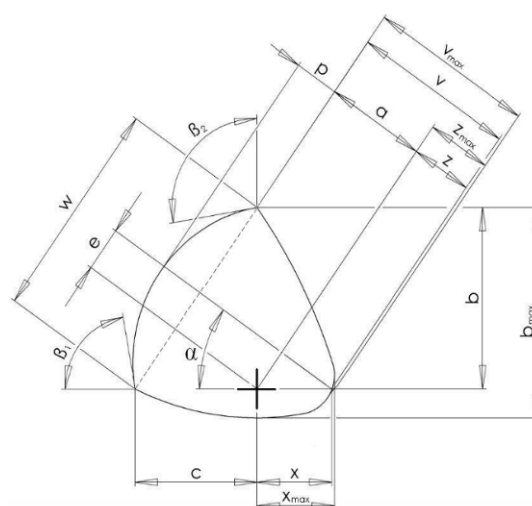
	a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
S12c008	3,6153	4,9891	5,5490	5,2198	0,0000	2,0676	7,2220
S12c009	3,7569	5,1621	5,9499	5,4567	0,0000	1,8477	7,4923
S12c010	3,5483	5,4594	5,4594	4,6640	0,0000	1,7683	7,1718
S12c011	3,5528	4,9793	5,5381	5,0697	0,0000	1,6757	7,0981
S12c012	3,5751	5,7267	5,7267	4,5603	0,0000	1,6739	7,3574
S12c013	3,5989	5,2298	5,4143	4,9585	0,0000	1,7921	7,2306
S12c014	3,6962	5,1391	5,8036	5,3173	0,0000	1,7646	7,3840
S12c015	3,5855	5,1579	5,3543	4,9853	0,1031	1,9280	7,1640
μ	3,6161	5,2304	5,5994	5,0290	0,0129	1,8147	7,2650
s	0,0687	0,2502	0,2074	0,3080	0,0341	0,1236	0,1246
v _x	1,8998	4,7840	3,7032	6,1238	264,5751	6,8106	1,7146
	x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
S12c008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,6153	3,6153	46,8564
S12c009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,7569	3,7569	46,7389
S12c010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,5183	3,5483	40,9998
S12c011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,5528	3,5528	44,8849
S12c012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,5751	3,5751	40,1542
S12c013	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,5989	3,5989	42,8956
S12c014	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,6962	3,6962	45,0022
S12c015	0,1899	0,7441	0,1214	0,1862	3,7099	3,7745	42,5989
μ	0,0237	0,0930	0,0152	0,0233	3,6279	3,6398	43,7664
s	0,0628	0,2461	0,0401	0,0616	0,0786	0,0847	2,3448
v _x	264,5751	264,5751	264,5751	264,5751	2,1675	2,3280	5,3576
	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
S12c008	105,4380	98,2244	22,6007	13,1463	7,8563	10,42	3,94
S12c009	101,4495	100,8400	24,4621	14,2365	8,1761	11,20	4,21
S12c010	101,0692	110,0378	21,9481	12,8491	7,0323	10,65	4,06
S12c011	111,6227	100,7285	21,4109	12,7334	6,6035	11,22	5,11
S12c012	103,0222	113,7223	22,4345	13,1907	6,4086	10,56	4,04
S12c013	104,2808	102,5649	21,4104	13,0882	7,7138	11,27	4,14
S12c014	106,4284	100,1453	23,4328	13,7867	7,5336	10,79	4,73
S12c015	99,7408	93,2297	23,4715	12,9943	8,3989	10,93	5,23
μ	104,1315	102,4366	22,6464	13,2532	7,4654	10,88	4,43
s	3,5391	6,1073	1,0115	0,4736	0,6748	0,31	0,48
v _x	3,3987	5,9620	4,4664	3,5737	9,0392	2,81	10,86

Příloha č. 15

Vyhodnocení vzorku S16c055



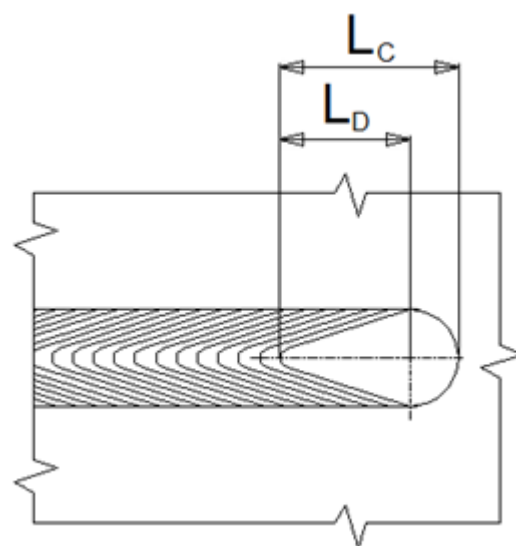
a) Snímek makrostruktury vzorku S16c055



b) Měřené rozměry makrostruktury



c) Snímek svarové lázně vzorku S16c055



d) Měřené rozměry svarové lázně



Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S16c055

Svařovací parametry – vzorek S16c055

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S16c055	240	0,5	252,7	22,7	0,55	6,864	0,968	0,506	16,5

Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 pro S16 v bezzkratovém režimu

Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

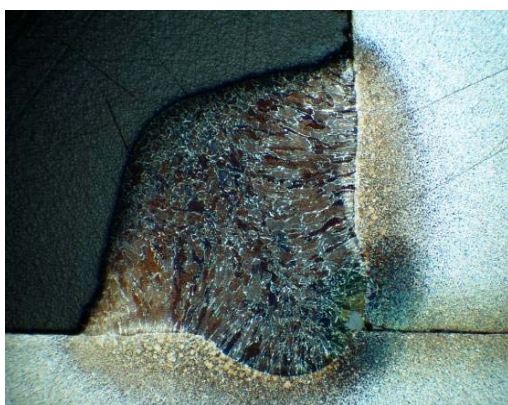
Číslo svaru	Stupeň kvality									
S16c051	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S16c052	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S16c053	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S16c054	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S16c055	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S16c056	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S16c057	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B

Geometrické rozměry svarové lázně vzorků S16 při bezkratovém režimu

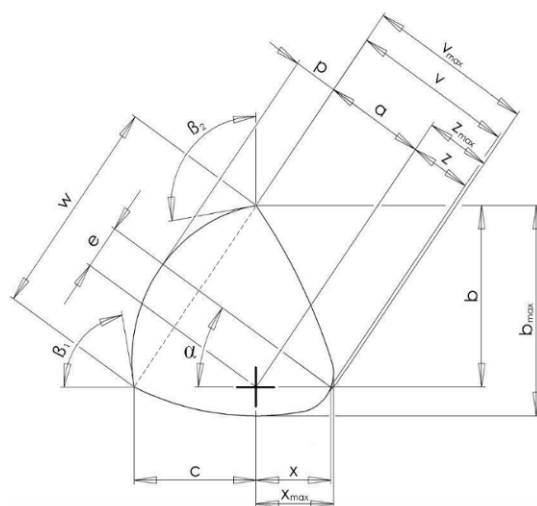
	a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
S16c051	3,6554	5,0860	6,3096	5,2837	0,5098	0,5827	7,3482
S16c052	3,5970	5,1880	6,3148	4,9718	0,9123	0,7001	7,1934
S16c053	3,6298	5,0277	6,3656	5,2496	0,5942	0,7149	7,2750
S16c054	3,5474	4,9662	6,2092	5,0285	0,8562	0,7825	7,0573
S16c055	3,5955	4,7176	6,1191	5,5514	0,8455	0,7733	7,2648
S16c056	3,6495	5,0261	6,1564	5,2876	1,0327	0,4452	7,2929
S16c057	3,6124	5,0019	6,2458	5,2288	0,7918	0,6665	7,2386
μ	3,6124	5,0019	6,2458	5,2288	0,7918	0,6665	7,2386
s	0,0344	0,1337	0,0833	0,1761	0,1682	0,1098	0,0861
v _x	0,9518	2,6722	1,3336	3,3684	21,2494	16,4693	1,1894
	x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
S16c051	0,8765	1,0576	0,6074	0,7573	4,2761	4,4248	45,9044
S16c052	1,2965	1,3398	0,9291	1,0644	4,5253	4,6575	43,9975
S16c053	1,0106	1,0636	0,6654	0,9486	4,2998	4,5818	44,5744
S16c054	1,2185	1,3267	0,8648	0,9529	4,4031	4,4910	45,0000
S16c055	1,2052	1,2052	0,7783	1,1695	4,3787	4,7694	48,0866
S16c056	1,3916	1,5396	0,9532	1,1494	4,6050	4,8002	47,6949
S16c057	1,1665	1,2554	0,7997	1,0070	4,4147	4,6208	45,8763
μ	1,1665	1,2554	0,7997	1,0070	4,4147	4,6208	45,8763
s	0,1604	0,1565	0,1195	0,1302	0,1084	0,0000	1,4236
v _x	13,7538	12,4646	14,9473	12,9294	2,4560	0,0000	3,1031
	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
S16c051	132,7205	130,4321	24,3821	13,5649	1,5565	17,86	3,59
S16c052	126,0408	131,9978	24,5313	13,0428	1,8330	18,12	3,15
S16c053	129,0220	123,9194	23,9623	13,3146	1,8285	18,11	3,94
S16c054	131,8419	126,3435	24,2063	12,6193	2,5155	17,93	4,12
S16c055	138,2411	118,8813	25,5578	13,2137	2,1740	18,03	3,57
S16c056	131,9940	129,6981	25,4358	13,4459	1,5369	18,64	3,69
S16c057	131,6434	126,8787	24,6793	13,2002	1,9074	18,12	3,68
μ	131,6434	126,8787	24,6793	13,2002	1,9074	18,12	3,68
s	3,4458	4,1367	0,5596	0,2851	0,3192	0,23	0,28
v _x	2,6175	3,2603	2,2675	2,1596	16,7325	1,29	7,71

Příloha č. 16

Vyhodnocení vzorku S16c001



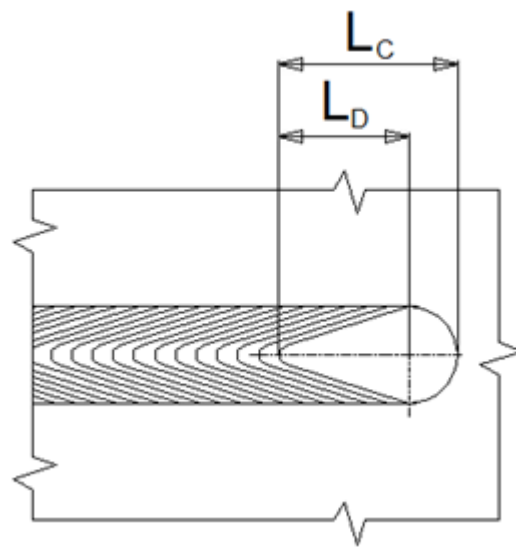
a) Snímek makrostruktury vzorku S16c001



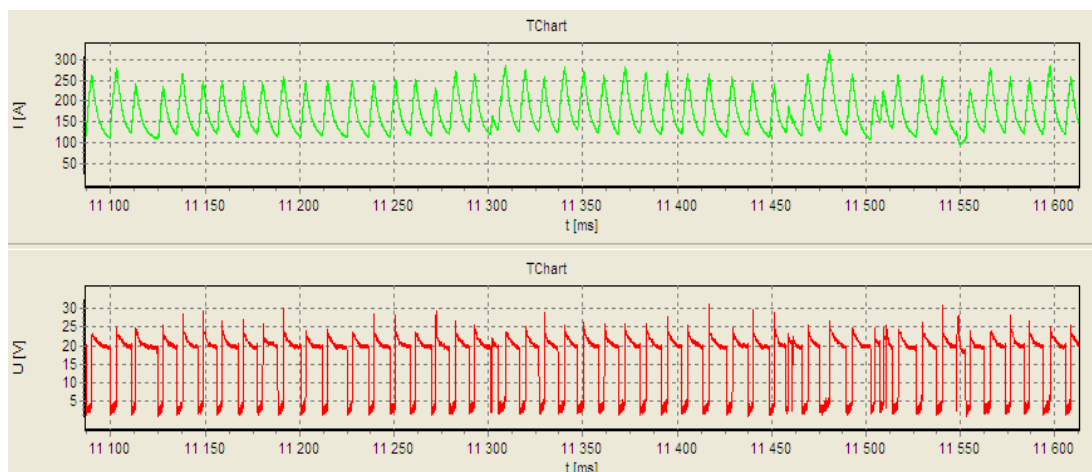
b) Měřené rozměry makrostruktury



c) Snímek svarové lázně vzorku S16c001



d) Měřené rozměry svarové lázně



Záznam z UI laboratoře programu WeldMonitor – vzorek S16c001

Svařovací parametry – vzorek S16c001

Číslo svaru	Proud [A]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Efektivní proud [A]	Efektivní napětí [V]	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	Posuv drátu [m.min ⁻¹]	Spotřeba drátu [m]	Rychlost svařování [m.min ⁻¹]	Průtok plynu [l.min ⁻¹]
S16c001	140	0,2	178,3	17,9	0,72	3,666	1,337	0,199	16,1

Hodnocení kvality svaru dle ČSN EN ISO 5817 pro S16 ve zkratovém režimu

Číslo vady	1.7.		1.10.	1.11.	1.12.	1.16.	1.17.	2.3.			2.13.
Referenční číslo dle ISO 6520- 1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislý zápal	Nadměrné převýšení koutového sv.	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar

Číslo svaru	Stupeň kvality									
S16c001	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B
S16c002	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B
S16c003	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
S16c004	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B
S16c005	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
S16c006	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B
S16c007	B	B	C	B	C	B	B	B	B	B

Geometrické rozměry svarové lázně vzorků S16 při zkratovém režimu

	a [mm]	b [mm]	b _{max} [mm]	c [mm]	e [mm]	p [mm]	w [mm]
S16c001	3,5798	4,9740	5,7533	5,1317	0,0000	1,8022	7,1686
S16c002	3,6409	5,5056	5,5056	4,8378	0,0000	1,8541	7,3405
S16c003	3,7838	5,6542	5,9334	5,0937	0,0000	1,7054	7,5971
S16c004	3,5400	4,9584	5,4497	5,0365	0,1215	2,0249	7,0862
S16c005	3,7893	5,3460	5,8410	5,3467	0,0000	1,6502	7,5623
S16c006	3,6626	5,5513	5,6419	4,8503	0,0000	1,7907	7,4077
S16c007	3,6167	5,5233	5,5233	4,7597	0,0000	1,9387	7,2886
μ	3,6590	5,3590	5,6640	5,0081	0,0174	1,8237	7,3501
s	0,0887	0,2623	0,1704	0,1904	0,0425	0,1197	0,1756
v _x	2,4251	4,8940	3,0079	3,8011	244,9490	6,5628	2,3889
	x [mm]	x _{max} [mm]	z [mm]	z _{max} [mm]	v [mm]	v _{max} [mm]	α [°]
S16c001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,5798	3,5798	45,8882
S16c002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,6409	3,6409	41,1013
S16c003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,7838	3,7838	40,6031
S16c004	0,1751	0,5192	0,1250	0,1250	3,6584	3,6584	44,6014
S16c005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,7893	3,7893	47,8460
S16c006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,6626	3,6626	40,4494
S16c007	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,6167	3,6167	40,8980
μ	0,0250	0,0742	0,0179	0,0179	3,6759	3,6759	43,0553
s	0,0613	0,1817	0,0437	0,0437	0,0746	0,0746	2,7939
v _x	244,9490	244,9490	244,9490	244,9490	2,0293	2,0293	6,4892
	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ [mm ²]	P _n [mm ²]	L _c [mm]	L _d [mm]
S16c001	108,3688	102,5549	22,1552	12,9173	7,0570	10,84	4,54
S16c002	101,1082	104,6973	23,0185	13,4806	7,8204	10,92	5,16
S16c003	114,9991	112,2911	22,7454	14,5222	5,4893	11,35	6,28
S16c004	104,4496	100,1661	22,3598	12,5988	7,9101	10,61	5,32
S16c005	107,9491	123,1960	22,5269	14,4259	6,8175	11,29	4,91
S16c006	101,7529	113,8895	22,5958	13,5831	6,8398	11,08	5,14
S16c007	102,0995	102,3673	23,4053	13,2888	8,0307	10,96	5,05
μ	105,8182	108,4517	22,6867	13,5452	7,1378	11,01	5,20
s	4,6252	7,7113	0,3879	0,6646	0,8259	0,24	0,50
v _x	4,3709	7,1103	1,7097	4,9062	11,5713	2,17	9,56

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 5. 1. 2011

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a license for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 5. 1. 2011

Signature: